

**TESIS**

**INVESTIGASI KERUSAKAN DAN STRATEGI PERKUATAN  
STRUKTUR ATAS GEDUNG PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS WIRALODRA INDRAMAYU**

**TESIS**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Mencapai derajat Magister Teknik Sipil**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
MAGISTER PEMELIHARAAN DAN TEKNIK REHABILITASI  
INFRASTRUKTUR**



**DISUSUN OLEH :**

**NAMA : WACHID HASYIM  
NIM : S941108013**

**PROGRAM PASCA SARJANA  
MAGISTER PEMELIHARAAN DAN TEKNIK REHABILITASI  
INFRASTRUKTUR  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA  
2016**




**INVESTIGASI KERUSAKAN DAN STRATEGI PERKUATAN  
STRUKTUR ATAS GEDUNG PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS WIRALODRA INDRAMAYU**

**TESIS**

Oleh:

**WACHID HASYIM  
S941108013**

Revisi telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat untuk menempuh ujian  
pendadaran tesis pada tanggal..... 2016

Komisi Pembimbing	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua Penguji :	<u>Dr. Senot Sangadji, ST.,MT</u> NIP. 19720807 200003 1 002		1/6/16
Pembimbing I :	<u>Prof. S.A. Kristiawan, M.Sc.,Ph.D.</u> NIP. 19690501 199512 1 001		.....
Pembimbing II :	<u>Dr. Ir. A.P. Rahmadi, MS</u> NIP. 19590320 198803 1 002		.....

Kepala Program Studi  
Magister Teknik Sipil

  
Dr. Eng. Ir. Syafi'i, MT

NIP. 19670602 199702 1 001

## Abstrak

Bangunan gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu yang telah digunakan selama 8 tahun sejak tahun 2006, mengalami beberapa kerusakan di beberapa bagian. Kerusakan yang terjadi didominasi oleh kerusakan arsitektural pada beberapa bagian gedung. Tesis ini bertujuan untuk mengetahui volume kerusakan yang terjadi, nilai indeks reliabilitas komponen struktur, dan usulan perkuatan komponen struktur pada kondisi eksisting gedung.

Tahapan penelitian dilakukan dengan pengukuran volume kerusakan dan kekuatan komponen struktur pada kondisi eksisting. Pengukuran kuat material komponen struktur dan penurunan yang terjadi pada pondasi gedung dianalisis untuk mengetahui nilai tahanan dan efek beban struktur. Nilai tahanan komponen struktur didapatkan dari kapasitas dengan nilai statistik dari faktor kuat material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional. Nilai beban didapatkan dari besaran efek beban dan nilai parameter statistik dari masing-masing beban yang bekerja. Indeks reliabilitas dihitung secara analitis dengan menghitung fungsi kinerja antara tahanan dan beban pada kondisi batas ultimit, sedangkan indeks reliabilitas dengan simulasi monte carlo dihitung berdasarkan nilai rata-rata dan simpangan baku dari kurva hubungan antara tahanan dan beban dalam kondisi kuat batas yang menggunakan sejumlah sampel percobaan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa volume kerusakan terbesar terjadi pada pintu geser utama dengan kerusakan sebesar 66.67%. Indeks reliabilitas terkecil pada kondisi aksial dan lentur serta kondisi geser terjadi pada kolom K3 dengan nilai sebesar 0,41 dan 2,95, sedangkan pada balok didapatkan nilai kurang dari 0. Indeks reliabilitas terkecil kolom menggunakan perkuatan CFRP dan *steel strip* didapatkan nilai masing-masing sebesar 2,79 dan 3,72 di kolom K2 lantai 2 dan K3. Indeks reliabilitas terkecil balok menggunakan perkuatan CFRP dan steel plate didapatkan nilai masing-masing sebesar 3,05 dan 3,19 pada balok B2 dan B1, sedangkan Indeks reliabilitas terkecil balok pada kondisi geser didapatkan nilai masing-masing sebesar 3,76 pada balok B1.

Kata kunci :analisa struktur, indeks reliabilitas, simulasi monte carlo, CFRP, *steel strips*.

## **Abstract**

Library building of Universitas Wiralodra Indramayu that have been used for eight years since 2006, suffered some damage in some parts. The damage that occurred is dominated by architectural damage in some parts of the building. This thesis aims to determine the volume of the damage, the value of reliability index of structural components, and the proposed reinforcement of structural components on the existing condition of the building.

Stages of research conducted by measuring the volume of the damage and the strength of structural components in existing condition. Measurement strong structural component materials and the decline in building foundation are analyzed to determine the value of resistance and the effect of load on the structure. Value detainees obtained structural components of capacity with statistical value of a strong factor of material properties, fabrication factors and professional factors. Load values obtained from the magnitude of the effects of the load and the value of statistical parameters of each load work. Reliability index is calculated analytically by calculating the performance function between the resistance and the load on the ultimate boundary conditions, whereas the reliability index with a monte carlo simulation is calculated based on the average value and standard deviation of the curve from relationship between load and resistance in an ultimit condition by use of a number of trial samples.

The measurement results show that the volume of the greatest damage occurred in the main door with damage amounting 66,67%. Reliability index of the smallest on the condition of axial and bending and shear conditions occur in the column K3 with values of 0.41 and 2.95, while the beam is obtained a value less than 0. The smallest reliability index columns using CFRP reinforcement and steel strips obtained the value of each amounted to 2.79 and 3.72 in the second floor of the column K2 and K3. Reliability index of the smallest beams using CFRP and steel plate reinforcement values obtained respectively by 3.05 and 3.19 on beam B1 B2 dn, while the index of the smallest reliability beams under shear conditions values obtained respectively by 3.76 on the beam B1.

**Keywords:** structural analysis, reliability index, monte carlo simulation, CFRP, steel strips.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah, SWT karena berkat rahmat dan hidayahnya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Investigasi Kerusakan dan Strategi Perkuatan Struktur Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu”.

Tesis ini sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan Program Pasca Sarajana pada bidang keahlian Pemeliharaan dan Teknik Rehabilitasi Infrastruktur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Tesis ini mengangkat permasalahan tentang menghitung volume kerusakan dan menghitung indeks reliabilitas komponen struktur dengan pendekatan *reliability engineering* serta usulan metode perkuatan struktur, sehingga dapat diketahui volume kerusakan dan keandalan struktur serta alternatif perkuatan pada struktur bangunan gedung jika diperlukan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini dikarenakan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan tesis tersebut.

Akhir kata semoga tesis ini dapat bermanfaat dalam memberikan sumbangan pengetahuan bagi para pembaca.

Surakarta, Pebruari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman judul.....	i
Halaman pengesahan .....	ii
Abstrak.....	iii
Abstract.....	iv
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi .....	vi
Daftar Tabel .....	x
Daftar Gambar .....	xii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	4
2.1. Tinjauan Pustaka.....	4
2.2. Landasan Teori .....	7
2.2.1. Penilaian kerusakan .....	7
2.2.2. Penurunan Pondasi.....	9
2.2.3. Analisa struktur.....	11
2.2.4. Konsep desain struktur .....	12
2.2.4.1. Pendekatan deterministik.....	12
2.2.4.2. Pendekatan probabilistik.....	12
2.2.5. Penilaian Reliabilitas Struktur Kondisi Eksisting .....	13
2.2.6. Analisa reliabilitas struktur.....	13

2.2.6.1. Fungsi kuat batas ( <i>limit state function</i> ).....	13
2.2.6.2. Indek reliabilitas dan probabilitas kegagalan .....	14
2.2.6.3. Simulai Monte Carlo.....	16
2.2.7. Indek Reliabilitas Target.....	18
2.2.8. Variabel Tahanan.....	18
2.2.9. Variabel Efek Beban.....	21
2.2.10. Kalibrasi faktor keamanan partial ( <i>partial safety calibration</i> ) .....	22
2.2.11. Reliabilitas Komponen Kolom .....	23
2.2.11.1. Kolom dengan beban aksial dan lentur.....	23
2.2.11.2. Kolom dengan beban aksial dan lentur dua arah (biaksial).....	25
2.2.11.3. Kolom dengan beban geser.....	27
2.2.12. Reliabilitas Komponen Lentur balok.....	28
2.2.13. Reliabilitas komponen geser balok.....	28
2.2.14. Metode Perkuatan Struktur .....	29
2.2.14.1. Metode Perkuatan Kolom Beton .....	29
2.2.14.2. Metode perkuatan CFRP ( <i>Carbon Fibre Reinforcement Polymer</i> ) .....	29
2.2.14.3. Metode perkuatan dengan pelapisan plat baja ( <i>steel strips</i> ) .....	32
2.2.15. Metode Perkuatan Balok Beton .....	34
2.2.15.1. Perkuatan lentur dengan CFRP ( <i>Carbon Fiber Reinforcement Polymer</i> ).....	34
2.2.15.2. Perkuatan geser dengan CFRP.....	37
2.2.15.3. Perkuatan lentur dengan pelat baja ( <i>steel plate</i> ) .....	40
2.2.15.4. Perkuatan geser dengan pelat baja ( <i>steel plate</i> ).....	41
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....	 43
3.1. Lokasi Penelitian .....	43
3.2. Data umum gedung.....	44
3.3. Alur penelitian .....	45
3.4. Pengumpulan data.....	47
3.5. Peralatan dan pengukuran.....	47

3.6. Pemodelan struktur .....	51
3.7. Analisa reliabilitas .....	51
3.8. Perbaikan komponen struktur .....	53

#### BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum .....	55
4.1. Data lapangan .....	55
4.1.1. Struktur rangka kuda — kuda .....	55
4.1.1. Data komponen struktur .....	56
4.1.2. Kuat tekan beton .....	59
4.1.3. Kuat leleh tulangan baja .....	61
4.2. Data kerusakan .....	61
4.3. Bobot kerusakan .....	64
4.4. Pembebanan .....	67
4.5. Analisa struktur .....	69
4.6. Evaluasi kekuatan komponen struktur .....	72
4.6.1. Parameter Statistik Tahanan Komponen Struktur .....	72
4.6.2. Parameter Statistik Efek Beban .....	77
4.6.3. Nilai target indek reliabilitas .....	78
4.7. Evaluasi kapasitas kolom eksisting .....	78
4.7.1. Indek reliabilitas ( $\beta$ ) kolom .....	79
4.7.1.1. Kapasitas nominal kolom kondisi aksial dan lentur .....	79
4.7.1.2. Kapasitas nominal kolom kondisi aksial dan lentur .....	80
4.7.2. Efek beban pada kolom .....	81
4.7.3. Indek reliabilitas kolom .....	82
4.7.3.1. Indek reliabilitas kondisi aksial dan lentur .....	82
4.7.3.2. Indek reliabilitas pada kondisi geser .....	86
4.8. Reliabilitas Komponen Balok Eksisting .....	90



4.8.1.Kondisi Lentur .....	90
4.8.2.Kapasitas nominal lentur balok .....	90
4.8.3.Kapasitas nominal geser balok .....	91
4.8.4.Efek beban pada balok.....	91
4.8.5.Indek reliabilitas balok .....	92
4.8.5.1.Indek reliabilitas kondisi lentur .....	92
4.8.5.2.Indek reliabilitas kondisi geser .....	95
4.9.Perkuatan struktur.....	97
4.9.1.Perkuatan kolom dengan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer).....	98
4.9.2.Perkuatan kolom dengan steel jacketing.....	99
4.9.3.Perkuatan balok dengan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)....	100
4.9.4.Perkuatan balok dengan steel plated.....	107
4.9.5.Indek reliabilitas kolom dengan CFRP.....	111
4.9.6.Indek keandalan kolom dengan steel strips .....	117
4.9.7.Indek reliabilitas balok dengan CFRP .....	125
4.9.8.Indek reliabilitas balok dengan steel plates .....	129
4.10.Kalibrasi faktor keamanan komponen struktur.....	135
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan .....	138
5.2. Saran .....	139
Daftar Pustaka .....	xiv

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter penurunan pondasi gedung .....	10
Tabel 2.2. Parameter penurunan pondasi dalam fungsi layanan .....	10
Tabel 2.3. Nilai indek reliabilitas target berdasarkan tingkat kepentingan struktur .....	15
Tabel 2.4. faktor profesional .....	17
Tabel 2.5. faktor bias dan koefesien variasi beban .....	19
Tabel 4.1. Properti elemen struktur.....	57
Tabel 4.2. Nilai kuat tekan beton kolom K3 .....	59
Tabel 4.3. Nilai kuat tekan seluruh kolom .....	60
Tabel 4.4. Nilai kuat tekan balok beton .....	61
Tabel 4.5. Nilai kuat leleh dan tarik tulangan baja .....	61
Tabel 4.6. Kerusakan pada gedung Perpustakaan UNWIR .....	62
Tabel 4.7. Bobot kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR .....	64
Tabel 4.8. Volume kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR .....	66
Tabel 4.9. Penurunan joint kolom eksterior dan interior .....	68
Tabel 4.10. Jenis dan besar beban yang bekerja pada gedung .....	69
Tabel 4.11. Gaya dalam maksimum kondisi eksisting.....	70
Tabel 4.12. Nilai Displacement maksimum kondisi eksisting.....	71
Tabel 4.13. Nilai simpangan antar lantai (storey drift) struktur.....	72
Tabel 4.14. Parameter statistik tahanan komponen kolom .....	73
Tabel 4.15. Parameter statistik tahanan komponen balok.....	75
Tabel 4.16. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) komponen kolom .....	77
Tabel 4.17. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) komponen lentur balok .....	77
Tabel 4.18. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) komponen geser balok .....	77
Tabel 4.19. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) beban.....	78
Tabel 4.20. Nilai indeks reliabilitas target .....	78
Tabel 4.21. Nilai input analisa kapasitas kolom .....	79
Tabel 4.22. Nilai kapasitas kolom aksial dan lentur pada titik kontrol.....	79
Tabel 4.23. Nilai input parameter geser kolom.....	80
Tabel 4.24. Nilai kapasitas geser kolom akibat beban mati.....	80
Tabel 4.25. Nilai gaya dalam kolom maksimal akibat beban mati .....	81

Tabel 4.26. Nilai gaya dalam kolom maksimal akibat beban hidup .....	81
Tabel 4.27. nilai $\beta$ kolom K1 lantai 1 .....	86
Tabel 4.28. Kolom dengan nilai $\beta < \beta_T$ .....	86
Tabel 4.29. Nilai $\beta$ kolom K2 lantai 1 dengan CFRP .....	89
Tabel 4.30. Momen nominal balok .....	90
Tabel 4.31. Geser nominal balok .....	91
Tabel 4.32. Nilai maksimal gaya lentur balok .....	92
Tabel 4.33. Nilai maksimal gaya geser balok .....	92
Tabel 4.34. Nilai $\beta$ balok B3.....	94
Tabel 4.35. Nilai $\beta$ balok B3.....	97
Tabel 4.36. Nilai geser balok dengan $\beta < \beta_T$ .....	97
Tabel 4.37. Parameter statistik kolom dengan CFRP .....	111
Tabel 4.38. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan CFRP .....	112
Tabel 4.39. Kondisi kegagalan kolom dengan CFRP .....	114
Tabel 4.40. Nilai $\beta$ kolom K2 lantai dengan CFRP .....	117
Tabel 4.41 parameter statistik kolom dengan <i>steel strips</i> .....	118
Tabel 4.42. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan <i>steel strips</i> .....	118
Tabel 4.43. Kondisi kegagalan kolom dengan <i>steel strips</i> .....	121
Tabel 4.44. Nilai $\beta$ kolom K2 lantai 1 dengan <i>steel strips</i> .....	125
Tabel 4.45. Parameter statistik balok dengan CFRP.....	125
Tabel 4.46. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan CFRP .....	126
Tabel 4.47. Nilai $\beta$ lentur balok B1 dengan CFRP .....	128
Tabel 4.48. Nilai $\beta$ geser balok B1 dengan CFRP .....	129
Tabel 4.49. Parameter statistik balok dengan <i>steel plates</i> .....	130
Tabel 4.50. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan <i>steel plates</i> .....	130
Tabel 4.51. Nilai $\beta$ lentur balok B1 dengan <i>steel plate</i> .....	133
Tabel 4.52. Nilai $\beta$ geser balok B1 dengan <i>steel plate</i> .....	135
Tabel 4.53. Nilai faktor keamanan kolom kondisi eksisting.....	136
Tabel 4.54. Nilai faktor keamanan kolom setelah perkuatan.....	137

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kurva distribusi fungsi kuat batas .....	12
Gambar 2.2. Diagram tegangan dan regangan kolom.....	23
Gambar 2.3. Penampang kolom dengan <i>steel plate</i> .....	31
Gambar 2.4. Distribusi tegangan-regangan balok dengan CFRP .....	32
Gambar 2.5. Pemasangan lapis FRP untuk perkuatan geser balok.....	35
Gambar 2.6. Diagram tegangan dan regangan balok dengan <i>steel plate</i> .....	38
Gambar 3.1. Peta Kabupaten Indramayu .....	40
Gambar 3.2. foto lokasi gedung perpustakaan UNWIR .....	41
Gambar 3.4. Meteran dan kaliper.....	45
Gambar 3.5. Alat ukur waterpass.....	46
Gambar 3.6. Alat Hammer test .....	46
Gambar 3.7. Grafik pembacaan <i>Schmidt Rebound Hammer Test</i> .....	47
Gambar 3.8. alat uji sondir.....	48
Gambar 4.1. Kuda-kuda stuktur gedung perpustakaan UNWIR.....	56
Gambar 4.2. Denah kolom lantai 1 .....	57
Gambar 4.3. Denah kolom lantai 2 .....	58
Gambar 4.4. Denah Balok Lantai 1.....	58
Gambar 4.5. Denah balok lantai 2.....	59
Gambar 4.6. Pemodelan Struktur Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra.....	70
Gambar 4.7. Distribusi kuat tekan beton ( $f'_c$ ) K1 lantai 1 .....	74
Gambar 4.8. Grafik indek reliabilitas kolom K1 lantai 1 .....	83
Gambar 4.9. Grafik indek reliabilitas kolom K1 lantai 2.....	84
Gambar 4.10. Grafik indek reliabilitas kolom K2 lantai 1 .....	84
Gambar 4.11. Grafik indek reliabilitas kolom K2 lantai 2.....	85
Gambar 4.12. Grafik indek reliabilitas kolom K3.....	85
Gambar 4.13. Grafik indek reliabilitas geser kolom K1 lantai 1 .....	87
Gambar 4.14. Grafik indek reliabilitas geser kolom K1 lantai 2 .....	87
Gambar 4.15. Grafik indek reliabilitas geser kolom K2 lantai 1 .....	88
Gambar 4.16. Grafik indek reliabilitas geser kolom K2 lantai 2 .....	88
Gambar 4.17. Grafik indek reliabilitas geser kolom K3 .....	89

Gambar 4.18. Grafik indeks reliabilitas lentur B1 .....	93
Gambar 4.19. Grafik indeks reliabilitas lentur balok B2 .....	93
Gambar 4.20. Grafik indeks reliabilitas lentur balok B3 .....	94
Gambar 4.21. Grafik indeks reliabilitas geser balok B1 .....	95
Gambar 4.22. Grafik indeks reliabilitas geser balok B2 lantai 2 .....	96
Gambar 4.23. Grafik indeks reliabilitas geser balok B3 lantai 1 .....	96
Gambar 4.24. Nilai $\square$ kolom K3 dengan CFRP .....	116
Gambar 4.25. Nilai $\beta$ kolom K2 lantai 1 dengan CFRP .....	116
Gambar 4.26. Nilai $\beta$ kolom K2 lantai 2 dengan CFRP .....	117
Gambar 4.27. Grafik nilai indeks reliabilitas kolom K3 dengan steel strips .....	124
Gambar 4.28. Grafik nilai indeks reliabilitas kolom K2 lantai 1 dengan steel strips .....	124
Gambar 4.29. Grafik nilai indeks reliabilitas kolom K2 lantai 2 dengan steel strips .....	125
Gambar 4.30. Nilai indeks reliabilitas balok B1 dengan CFRP .....	127
Gambar 4.31. Nilai indeks reliabilitas balok B2 dengan CFRP .....	127
Gambar 4.32. Nilai indeks reliabilitas geser balok B1 dengan CFRP .....	129
Gambar 4.33. Grafik nilai indeks reliabilitas balok B1 dengan steel plates .....	132
Gambar 4.34. Grafik Nilai indeks reliabilitas balok B2 dengan steel plates .....	132
Gambar 4.35. Nilai indeks reliabilitas geser balok B1 dengan steel plate .....	134

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu dibangun dengan biaya bantuan Pemerintah Daerah Indramayu dengan maksud untuk memfasilitasi kebutuhan sarana belajar yang belum memadai. Gedung tersebut menggunakan struktur rangka beton bertulang dengan 2 lantai bertingkat. Selama masa pelayanan, gedung tersebut difungsikan sebagai gedung perpustakaan di lantai 2 dan unit perkantoran di lantai 1 serta sebagian di lantai 2.

Kondisi komponen struktur gedung saat ini telah mengalami beberapa kerusakan. Kerusakan retak terjadi pada beberapa balok dan kolom serta dinding gedung. Keretakan dan kerusakan pada komponen gedung perlu ditangani secara khusus supaya gedung tetap dapat digunakan sesuai fungsinya. Penanganan kerusakan dilakukan dengan perbaikan – perbaikan pada komponen struktur.

Kondisi struktur gedung secara keseluruhan harus dapat menjamin keselamatan dan kenyamanan pengguna, sehingga struktur gedung yang mengalami kerusakan pada komponennya harus dapat diketahui kondisi kerusakan dan pengaruh terhadap keamanannya. Dari uraian tersebut maka diperlukan penelitian tentang penilaian kerusakan dan strategi perkuatan struktur atas pada Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu.

Penelitian dilakukan terhadap kondisi eksisting untuk mengetahui volume kerusakan, nilai indek reliabilitas komponen struktur, dan usulan perkuatan pada struktur atas bangunan gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra.

### 1.2. Rumusan masalah

Dari latar belakang yang dikemukakan tersebut, masalah yang perlu dirumuskan antara lain :

1. Berapa volume kerusakan pada struktur gedung perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu berdasarkan penilaian kondisi gedung berdasarkan metode kuantitatif ?
2. Berapa besar nilai indeks reliabilitas komponen struktur gedung perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu pada kondisi eksisting dengan pendekatan *reliability engineering*?
3. Usulan metode perkuatan struktur yang paling efisien ?

### 1.3. Batasan Masalah

Pembahasan permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada beberapa hal supaya permasalahan yang dibahas dapat dianalisis. Pembatasan masalah tersebut, antara lain :

1. Kerusakan struktur yang terjadi merupakan kerusakan yang belum mencapai kegagalan struktur.
2. Analisa struktur gedung perpustakaan pada kondisi elastik linier.
3. Analisis reliabilitas struktur dianalisa terhadap reliabilitas komponen struktur kolom dan balok.
4. Kapasitas tahanan dan beban memiliki distribusi normal.
5. Metode perkuatan dilakukan dengan mempertimbangkan pada lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana, kemudahan pelaksanaan, dan waktu pelaksanaan.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan, antara lain :

1. Untuk mengetahui tingkat kerusakan yang terjadi pada gedung perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu berdasarkan penilaian kondisi gedung berdasarkan metode kuantitatif.
2. Untuk mengetahui indeks reliabilitas komponen struktur gedung perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu pada kondisi eksisting dengan pendekatan *reliability engineering*.
3. Untuk mengetahui metode perkuatan struktur yang tepat dan efisien.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh pada penelitian ini merupakan merupakan manfaat teoritis dan praktis, yaitu :

1. Manfaat praktis  
Memberikan kontribusi berupa analisa yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk merehabilitasi Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu
2. Manfaat teoritis  
Memberikan kontribusi pengetahuan dan wawasan tentang investigasi kerusakan, analisis reliabilitas, dan perkuatan struktur gedung pada kondisi eksisting.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Menurut Watt (2007), Bangunan yang telah berdiri memiliki kinerja tergantung pada pengaruh-pengaruh internal dan eksternal yang terjadi pada bangunan, sehingga bangunan gedung harus diupayakan memiliki kinerja tinggi pada periode masa layanan.

Penilaian kerusakan bangunan gedung terdiri atas dua prosedur, berupa : prosedur *on site* dan prosedur *off site*. Prosedur *on site* mensyaratkan:

1. Pemeriksaan kerusakan mendetail.
2. Mencatat kerusakan menurut deskripsi, pengukuran, foto atau gambar sketsa.
3. Pemeriksaan dan pengujian di sekitar kerusakan yang mengindikasikan masalah atau kerusakan yang berhubungan dengan peninjauan secara internal dan eksternal di daerah yang berdekatan dengan komponen, serta pemeriksaan pada daerah lain yang tersembunyi yang mungkin dapat terpengaruhi.
4. memastikan seakurat mungkin bentuk yang tepat dari konstruksi.
5. Pengujian terhadap spesifikasi/gambar konstruksi jika memungkinkan untuk mendapatkan informasi detail mengenai bangunan gedung.
6. Pengujian yang merusak jika memungkinkan.
7. Pemeriksaan pada daerah-daerah tersembunyi.
8. Pengujian dengan standar pemeliharaan jika tersedia.
9. Pembongkaran terhadap struktur jika diperlukan.
10. Mendiskusikan masalah dengan pemilik gedung ketika kerusakan yang ditemukan semakin memburuk.

Sedangkan prosedur *off site* bisa berupa :

1. mereferensi pada informasi lain yang relevan.
2. mengkonsultasikan dengan para ahli.

3. melakukan pengawasan lebih dengan pengujian yang dilakukan oleh para ahli.

Menurut McDonald (2003), dua alasan penting untuk dilakukan penilaian kondisi gedung eksisting adalah: yang pertama untuk memastikan tidak ada perubahan pada konstruksi, kondisi, dan perilaku struktur pada kondisi eksisting dan yang kedua adalah untuk memastikan bahwa penilaian dilakukan untuk perubahan yang akan dilakukan pada kondisi eksisting.

Kondisi gedung eksisting dapat dinilai berdasarkan tingkat keandalan terhadap fungsi struktur selama masa pelayanan. Tingkat keandalan harus dinilai dengan memperhatikan kemungkinan konsekuensi kegagalan dan jumlah biaya yang diperlukan untuk mengurangi risiko kegagalan.

Menurut McDonald (2003), Pada struktur bangunan gedung eksisting, perlu dilakukan penilaian keandalan atau reliabilitas ketika kondisi struktur gedung:

- a. Melakukan rehabilitasi dari salahsatu fasilitas atau penambahan komponen struktur baru ke sistem struktur yang ada,
- b. Pemeriksaan kecukupan tahanan dalam upaya menentukan apakah struktur yang ada dapat menahan beban yang berhubungan dengan perubahan penggunaan fasilitas, perubahan fungsi atau perpanjangan umur layan,
- c. Perbaikan struktur yang ada yang telah memburuk karena dampak lingkungan atau telah mengalami kerusakan akibat tindakan tidak disengaja (misalnya : gempa bumi),
- d. Keandalan struktur diragukan.

Untuk persyaratan keandalan, nilai-nilai variabel dasar harus diambil sebagai berikut :

- a. Dimensi elemen struktur, ketika dokumen desain asli yang tersedia dan tidak ada perubahan dalam dimensi, dimensi nominal sesuai dengan dokumen desain asli harus digunakan dalam analisis,
- b. Karakteristik beban harus dimasukkan dengan nilai-nilai yang sesuai,

- c. Sifat material harus dipertimbangkan sesuai dengan keadaan sebenarnya dari struktur, ketika dokumen desain asli yang tersedia dan tidak ada kerusakan serius serta kesalahan desain, nilai karakteristik sesuai dengan desain asli harus digunakan. Jika tidak sesuai, pemeriksaan destruktif atau non-destruktif harus dilakukan dan dievaluasi dengan menggunakan metode statistik,
- d. Model ketidakpastian harus dipertimbangkan dalam perencanaan atau evaluasi, kecuali perilaku struktural sebelumnya (terutama kerusakan) menunjukkan hal yang sebaliknya.

Menurut Xilin lu, (2010) Perbaikan struktur dilakukan jika kekuatan struktur gedung eksisting mengalami penurunan kemampuan selama masa layanan, penambahan beban pada komponen struktur, ataupun keandalan struktur yang diragukan. Perbaikan komponen struktur bisa dilakukan dengan cara perkuatan. Metode perkuatan yang umum diaplikasikan, yaitu :

- a. Memberikan penyelubungan atau *jacketing* dengan menggunakan bahan komposit.
- b. Memperbesar pelapisan dengan plat baja (*steel plate*).

Perkuatan dengan cara penyelubungan bisa dilakukan dengan bahan komposit FRP (*Fiber Reinforced Polymer*), yaitu bahan komposit *polymer* dengan serat yang memiliki kekuatan tinggi. CFRP (*CarbonFiber Reinforced Polymer*) merupakan salahsatu jenis FRP berupa plat tipis atau *fabric* yang tersusun atas baja tipis dan serat karbon dengan mutu kuat tinggi.

Metode perkuatan lain yang bisa diaplikasikan pada struktur adalah metode pelapisan. Menurut Lu (2010), pelapisan plat baja pada penampang pada kolom persegi dapat dilakukan dengan menggunakan profil L di ke empat sudut yang dikekang dengan plat strip, sedangkan untuk kolom bulat dapat dilakukan dengan pemasangan plat strip yang mengelilingi kolom. Pelapisan plat pada penampang balok dapat dilakukan pada satu sisi, dua sisi simetri, dan pelapisan penuh untuk meningkatkan kuat lentur maupun geser balok.

Metode pelapisan penampang dengan plat baja atau disebut *steel plate* menurut Lu (2010), memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- a. Masa pelaksanaan konstruksi yang singkat,
- b. Proses pelaksanaan yang sederhana,
- c. Meningkatkan kuat komponen tanpa perubahan dimensi yang terlalu besar.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Penilaian kerusakan**

Menurut Watt (2007), Kerusakan merupakan kegagalan atau kelemahan dalam fungsi, kinerja, atau persyaratan penggunaan bangunan. Kerusakan yang terjadi dapat berupa kegagalan atau kelemahan pada struktur, material, kerusakan fasilitas dari bangunan gedung. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada kerusakan struktur, yaitu:

#### **1. Indikator kerusakan**

Kerusakan yang terjadi pada bangunan gedung dapat dideteksi dari gejala-gejala yang timbul pada komponen bangunan gedung atau bangunan gedung secara keseluruhan. Diagnosa pada bangunan gedung dapat dilakukan dengan cara uji bahan, pengukuran, pengujian tak merusak, dan pemantauan terhadap elemen struktur.

#### **2. Jenis-jenis kerusakan**

Menurut Uzarsky (2006), jenis-jenis kerusakan digolongkan terhadap tingkat bahaya yang dapat timbul pada bangunan gedung. Kerusakan-kerusakan yang terjadi dapat berupa :

##### **a. Patah**

Subkomponen mengalami patah, hancur, atau terpisah menjadi dua potongan atau lebih. Potongan hilang atau masih tersisa, tetapi komponen lain yang terhubung tidak dapat beroperasi sesuai fungsinya.

b. Penurunan Kemampuan/Kapasitas.

Komponen dari fasilitas bangunan beroperasi kurang baik karena kapasitas tidak mencukupi, atau kurang memenuhi standar. Hal ini dapat disebabkan oleh desain awal yang buruk, terjadi perubahan kebutuhan komponen, dan/atau perubahan dari bangunan gedung.

c. Retak

Subkomponen mengalami keretakan. Terjadi pemisahan menjadi dua atau lebih. Lebar keretakan mungkin bervariasi dan kemungkinan terjadi patah. Komponen atau subkomponen masih dapat berfungsi.

d. Rusak

Tergerus, terkelupas, berlubang, robekan, distorsi, pecah, dan lain-lain yang dihasilkan dari dampak luar misalnya : getaran kendaraan, kebakaran, banjir, atau dampak lain yang terkait dengan peristiwa tertentu.

e. Efflorescence/Pengkristalan

Garam terlarut berlapis pada permukaan batu, beton, atau subkomponen plester yang disebabkan oleh kelembaban dari alkali bebas terlarut dari mortar atau beton. Pengkristalan biasanya terlihat sebagai lapisan tepung putih.

f. Lubang

Pengeboran atau penetrasi subkomponen untuk tujuan tertentu. Kedalaman penetrasi mungkin parsial atau penuh.

g. Kebocoran

Intrusi yang tidak diinginkan dari gas atau cairan.

h. Lepas

Subkomponen yang tidak tersambung kuat satu atau lebih dari subkomponen lain atau kelonggaran dari satu atau lebih komponen pengencang (yaitu baut, sekrup, pin, paku atau paku keling).

i. Uap air / Kotoran / Terkontaminasi Jamur

Keberadaan material asing yang tidak diharapkan seperti : tumbuhan, jamur, lumut, air dan/atau cairan lainnya.

j. Bernoda / Kotor

Perubahan warna pada subkomponen yang disebabkan oleh : cairan, coretan, noda, jamur, lumut, ganggang, jelaga, debu, kotoran hewan, atau sumber lain.

3. Bobot kerusakan

Menurut Uzarsky (2006), Besar kerusakan pada bangunan gedung terhadap tingkat bahaya yang ditimbulkan dapat diperhitungkan dengan menggunakan pembobotan kerusakan pada masing-masing komponen atau subkomponen. Bobot kerusakan dapat dihitung dengan persamaan 2.1, sebagai berikut :

$$\text{Bobot} = \frac{A}{B} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Dimana :

A = besar kerusakan menurut kuantitas (luas, panjang dan unit)

B = total kuantitas (luas, panjang, dan unit)

**2.2.2. Penurunan Pondasi**

Pondasi dapat bergerak yang disebabkan oleh beban yang bekerja. Pergerakan ini disebut sebagai penurunan (*settlement*). Menurut Douglas and Noy, (2011), Penurunan pondasi disebabkan aktivitas di dalam tanah, berupa:

1. Erosi tanah yang disebabkan aliran air tanah.
2. Perubahan muka air tanah.
3. Pengaruh beban bangunan-bangunan yang berdiri di atas tanah.
4. Pergerakan di dalam tanah akibat kegiatan penambangan atau lubang di tanah berkapur.
5. Pergerakan akibat kembang susut tanah lempung (*clay*).
6. Daya dukung yang tidak seragam pada lapisan tanah.

Pada sebagian besar konstruksi gedung, lapisan tanah pada pondasi seringkali tidak homogen sehingga beban pada pondasi dangkal dari struktur dapat mengalami

penurunan yang tidak seragam. Penurunan yang tidak seragam pada pondasi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur atas gedung, sehingga perlu untuk menentukan parameter-parameter yang dapat mengukur penurunan tak seragam. Pada tahun 1956, Skempton dan MacDonald mengusulkan beberapa nilai batasan penurunan maksimum untuk gedung (Das, 2007), seperti berikut:

Tabel 2.1. Parameter penurunan pondasi gedung

Penurunan maksimum	ST max (mm)
Pasir	32
Lempung	45
Penurunan differential maksimum	$\Delta ST$ max (mm)
Pondasi terisolasi di pasir	51
Pondasi terisolasi di lempung	76
Pondasi rakit di pasir	51 – 76
Pondasi rakit di lempung	76 – 127
Sudut distorsi maksimum	$\beta$ max = 1/300

Sumber : Das, 2007

Sedangkan parameter penurunan pondasi menurut Standar Komite Eropa (Das, 2007), direkomendasikan seperti berikut:

Tabel 2.2. Parameter penurunan pondasi dalam fungsi layanan

Item	Parameter	Besaran	Keterangan
Batas nilai maksimum dalam fungsi layanan (EC,1994a)	$S_T$	25 mm	Pondasi dangkal terisolasi
		50 mm	Pondasi rakit
	$\Delta S_T$	5 mm	Rangka cladding kaku
		10 mm	Rangka cladding fleksibel
		20 mm	Rangka terbuka
	$\beta$	1/500	-

Lanjutan Tabel.2.2. Parameter penurunan pondasi dalam fungsi layanan

Item	Parameter	Besaran	Keterangan
Batas nilai maksimum pergerakan pondasi layanan (EC,1994b)	$S_T$	50	Pondasi dangkal terisolasi
	$\Delta S_T$	20	Pondasi dangkal terisolasi
	$\beta$	1/500	-

Sumber: Das, 2007

### 2.2.3. Analisa struktur

Analisa struktur didefinisikan sebagai respon suatu struktur terhadap suatu pembebanan dan sistem struktur yang digunakan. Respon yang terjadi akibat pembebanan berupa: gaya-gaya dalam dan deformasi struktur. Pada kondisi eksisting, respon struktur dapat mengalami perubahan dari kondisi awal akibat dari deformasi yang terjadi. Sebagai contoh, deformasi struktur bawah yang berupa *displacement* pada pondasi dapat menyebabkan peningkatan nilai gaya-gaya dalam struktur.

Berdasarkan konsep metode elemen hingga (*finite element method*), bahwa gaya didapatkan dari keseimbangan antara kekakuan struktur dan displacement ( $F=K.U$ ) sehingga perubahan nilai *displacement* ( $U$ ) dengan nilai kekakuan struktur ( $K$ ) tetap, akan mempengaruhi besar gaya ( $F$ ) yang terjadi. Deformasi struktur pada kondisi eksisting berupa penurunan pondasi (*support displacement*) menyebabkan penambahan beban berupa beban displacement pada tumpuan (*support displacement load*). Komponen struktur harus dievaluasi terhadap respon struktur berupa gaya dalam yang terjadi, sehingga komponen tetap mampu dalam menerima beban. Kemampuan komponen dalam menerima beban disebut sebagai aspek kekuatan struktur.

Selain *displacement* pada pondasi, deformasi struktur berupa *displacement* atau simpangan pada lantai (*story drift*) akan menentukan jenis perilaku struktur



lainnya. Nilai simpangan lantai (*story drift*) harus dalam batas nilai yang diijinkan sehingga struktur masih dalam kondisi tertentu yang disebut sebagai aspek stabilitas struktur.

Simpangan antar lantai (*interstory drift*,  $\Delta$ ) akan menentukan batasan elastisitas struktur, dimana nilai simpangan antar lantai dalam batas kondisi yang diijinkan menjamin bahwa struktur masih dalam batas kondisi elastis. Sebaliknya, nilai simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) yang melebihi nilai yang diijinkan akan membuat struktur dalam kondisi inelastis. Nilai ijin simpangan antar tingkat (*interstory drift*,  $\Delta_a$ ) yang harus dipenuhi yaitu sebesar 30 mm.

#### **2.2.4. Konsep desain struktur**

Desain struktur yang dilakukan secara optimal diharapkan mampu memberikan hasil yang efektif dan efisien dari sebuah struktur. Konsep desain yang memberikan hasil yang aman akan bergantung pada keefektifan pendekatan yang digunakan. Konsep desain secara umum, berupa:

1. Pendekatan deterministik,
2. Pendekatan probabilistik.

##### **2.2.4.1. Pendekatan deterministik**

Pendekatan deterministik menunjukkan bahwa sebuah struktur dikatakan aman ketika nilai tahanan struktur lebih besar dari beban yang bekerja. Pada pendekatan ini, keamanan struktur dapat diketahui hanya pada kondisi aman atau gagal. Batas bawah dan batas atas dari kemampuan struktur dalam menerima beban tidak dapat diketahui secara pasti. Nilai tahanan dan beban didapatkan dengan pengukuran langsung dari nilai karakteristik dari masing-masing tahanan dan beban.

##### **2.2.4.2. Pendekatan probabilistik**

Pendekatan probabilistik memberikan hasil desain struktur yang tidak hanya terbatas pada kondisi aman atau gagal dari sebuah struktur. Pada pendekatan ini, nilai

batas bawah dan batas atas dari kemampuan struktur dalam menerima beban dapat diketahui secara pasti, yaitu dengan cara mengukur nilai indeks reliabilitas. Nilai tahanan dan beban didapatkan dengan meninjau fungsi distribusi probabilitas dari variabel yang mempengaruhi nilai tahanan dan beban.

#### **2.2.5. Penilaian Reliabilitas Struktur Kondisi Eksisting**

Kemampuan struktur atau komponen struktur dalam memenuhi persyaratan pembebanan yang ditentukan termasuk beban hidup yang sesuai dengan hasil desain disebut dengan keandalan atau Reliabilitas.(ISO 2394, 1998).

Dalam menghitung reliabilitas struktur, terdapat beberapa metode perhitungan yang bisa digunakan. Metode tersebut dapat dihitung secara analitis ataupun dengan cara simulasi.

#### **2.2.6. Analisa reliabilitas struktur**

Reliabilitas struktur didasarkan pengukuran pada indeks reliabilitas dan probabilitas kegagalan. Struktur akan dianggap tidak reliabel jika kondisi batas kegagalan struktur melebihi nilai yang diminta. Aspek yang dipertimbangkan dalam memperhitungkan indeks reliabilitas adalah fungsi kuat batas ultimit yang memperhitungkan variabel-variabel efek beban dan tahanan yang bersifat acak.

Variabel-variabel beban dan tahanan memiliki distribusi tertentu sehingga variabel beban dan tahanan dapat dikelompokkan menurut nilai rerata dan simpangan baku. Metode perhitungan dengan mempertimbangkan nilai statistik variabel disebut dengan metode analitis atau derajat pertama-moment kedua (*First Order Second Moment*). Selain itu metode perhitungan menggunakan simulasi dapat digunakan untuk menganalisa hubungan variabel statistik diantaranya yaitu metode simulasi *Monte Carlo*.

##### **2.2.6.1. Fungsi kuat batas (*limit state function*)**

Definisi kegagalan pada konsep probabilitas ditentukan sebagai kondisi dimana struktur tidak dapat mencapai suatu target dalam fungsi kinerja (*performance*

*function*). Fungsi kinerja yang harus dicapai oleh struktur merupakan kinerja dari komponen yang melebihi batas kemampuan yang diijinkan, sebagai contoh: lendutan yang melebihi lendutan maksimal yang diijinkan.

Fungsi kinerja yang terkait dengan kapasitas struktur dalam memikul beban disebut sebagai fungsi kondisi batas ultimit (*ultimate limit states function*). Batas keamanan (*margin of safety*) dari fungsi kondisi batas ultimit berupa tahanan ( $R$ ) dan beban ( $S$ ) secara matematis didefinisikan seperti berikut.

$$g(Z) = R - S = 0 \quad (2.2)$$

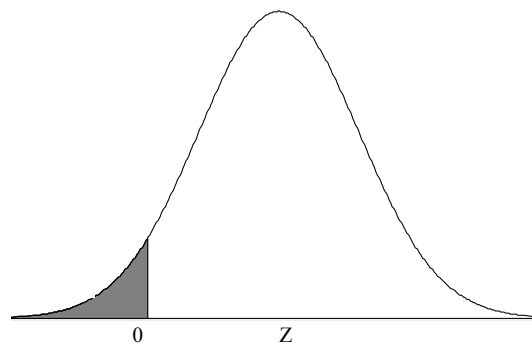
Fungsi kondisi batas dalam 3 kondisi dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. kondisi aman (*safe*), jika Nilai  $g(Z) > 0$ .
2. kondisi batas antara aman dan gagal, jika  $g(Z) = 0$ .
3. kondisi gagal (*failure*), jika  $g(Z) < 0$ .

Besarnya probabilitas kegagalan dihitung pada kondisi  $z < 0$  sesuai dengan fungsi kondisi batas ultimit atau fungsi kinerja.

#### 2.2.6.2. Indek reliabilitas dan probabilitas kegagalan

Indek reliabilitas dapat ditentukan dengan menghitung luas area berarsir pada grafik distribusi dari fungsi kuat batas seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kurva distribusi fungsi kuat batas

Kurva probabilitas kegagalan yang ditandai dengan area berarsir menunjukkan nilai batas keamanan yang dapat diterima. Probabilitas kegagalan ditunjukkan dengan

hubungan nilai tahanan dan nilai efek beban struktur yang melampaui kondisi kuat batas ultimit.

Probabilitas kegagalan dapat juga ditentukan dengan menghitung jumlah sampel yang tidak memenuhi persyaratan dengan jumlah sampel secara keseluruhan. Probabilitas kegagalan dihitung menurut persamaan 2.3 berikut.

$$P_f = \frac{N_i}{N_{total}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$N_i$  = jumlah sampel gagal

$N_{total}$  = jumlah sampel keseluruhan

Besaran probabilitas kegagalan dalam hubungan dengan indeks reliabilitas dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P_f = \Phi[-\beta] \quad (2.4)$$

Sehingga indeks reliabilitas dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\beta = -\Phi^{-1}[P_f] \quad (2.5)$$

dimana :

$P_f$  = probabilitas kegagalan

$\beta$  = indeks reliabilitas

$\Phi$  = fungsi distribusi probabilitas kumulatif (*CDF*)

$\phi$  = fungsi distribusi kepadatan (*PDF*)

Selain itu, Indeks reliabilitas dengan distribusi data berbentuk normal pada kondisi kuat batas ultimit dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut.

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} \quad (2.6.a)$$

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (2.6.b)$$

Dimana :

$\mu_Z$  dan  $\sigma_Z$  = rata-rata untuk tahanan dan efek beban pada kuat batas ultimit

$\mu_R$  dan  $\mu_S$  = rata-rata untuk tahanan dan efek beban

$\sigma_R$  dan  $\sigma_S$  = simpangan baku tahanan dan efek beban

### 2.2.6.3. Simulai Monte Carlo

Selain cara analitis, indeks reliabilitas dapat dihitung dengan cara simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo merupakan metode pengambilan sampel acak yang didapatkan dari bangkitan nilai acak dengan faktor ketidakpastian. Nilai variabel acak dibangkitkan dari parameter-parameter statistik variabel beban dan tahanan.

Dengan demikian, simulasi Monte Carlo merupakan suatu teknik untuk mendapatkan sampel secara numerik dengan memanfaatkan distribusi data tanpa melakukan uji secara fisik. Simulasi Monte Carlo dapat digunakan ketika dalam kondisi:

1. Kondisi permasalahan yang sangat kompleks, dimana pendekatan lain (*closed form solution*) tidak dapat dilakukan.
2. Kondisi permasalahan yang sangat kompleks dengan penyederhanaan yang rumit.
3. Kondisi permasalahan dalam perhitungan dan penyederhanaan yang perlu diverifikasi hasilnya.

Prosedur pengambilan sampel dalam simulasi monte carlo dapat dilakukan dengan *pseudo random generation* dimana sampel terdistribusi secara ragam antara 0 dan 1 untuk menghasilkan angka acak. Angka acak dari distribusi data dihitung untuk mendapatkan nilai sampel yang dibangkitkan dengan metode sampling.

Salahsatu metode sampling nilai acak dari sebuah variabel adalah metode transformasi kebalikan. Semisal  $F_X(x_i)$  adalah nilai CDF dari variabel acak  $x_i$ , maka nilai interval  $x_i$  adalah (0,1). Angka acak yang dibangkitkan dengan nilai diantara 0 dan 1 dianggap sebagai variabel  $U_i$ , sehingga persamaan transformasi kebalikan menghasilkan nilai berupa fungsi kebalikan ( $x_i$ ), seperti berikut :

$$f_x(x_i) = U_i \text{ atau } x_i = F_x^{-1}(u_i) \quad (2.27.a)$$

Nilai probabilitas distribusi kepadatan kumulatif (CDF) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Phi(z) = 1 - \Phi(-z) = \int_{-\infty}^z \varphi(z) dz \quad (2.27.b)$$

Dimana nilai probabilitas distribusi kepadatan (PDF) dengan persamaan:

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(z)^2\right] \quad (2.27.c)$$

Sehingga nilai  $z$  dapat dihitung dengan nilai invers dari angka acak  $p$  seperti berikut.

$$z = \Phi^{-1}(p) = -t + \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \quad (2.27.d)$$

Dimana nilai  $t$  dapat dihitung seperti berikut.

$$t = \sqrt{-\ln(p^2)} \quad (2.27.e)$$

Nilai  $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$  masing-masing adalah 2,515517, 0,802853, 0,010328, 0.189269, 0,001308.

Nilai  $z$  untuk  $p > 0$  dihitung seperti berikut.

$$z = -\Phi^{-1}(p^*) \quad (2.27.f)$$

Dengan  $p^*$

$$p^* = 1 - p \quad (2.27.g)$$

Menurut Allen et al (2005), nilai  $z$  dan  $t$  dapat dilakukan secara otomatis di *Microsoft Excel* dengan fungsi NORMINV.

Pengambilan sampel tahanan dan beban pada simulasi Monte Carlo dihitung dengan persamaan seperti berikut.

$$R = \mu_R + \sigma_R \cdot Z \quad (2.28.a)$$

$$S = \mu_S + \sigma_S \cdot Z \quad (2.28.b)$$

Dimana  $z$  merupakan bangkitan angka acak yang kemudian diiterasi sebanyak jumlah percobaan yang dilakukan.

### 2.2.7. Indeks Reliabilitas Target

Menurut Nowak dan Kaszynska (2011), Nilai indeks reliabilitas target untuk balok, plat dan kolom dipertimbangkan terhadap resiko kegagalan dari komponen struktur. Berdasarkan tingkat konsekuensi kegagalan, lentur pada balok dipertimbangkan sebagai komponen struktur dengan memiliki daktilitas yang cukup tinggi. Kegagalan pada kolom lebih membahayakan daripada balok, sehingga nilai indeks reliabilitas target harus lebih tinggi.

Pada struktur eksisting, nilai indeks reliabilitas target diperbolehkan lebih rendah dengan alasan ekonomis. Nilai indeks reliabilitas target menurut tingkat kepentingan, untuk struktur gedung baru, struktur eksisting, dan struktur bernilai historis dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai indeks reliabilitas target berdasarkan tingkat kepentingan struktur

Tingkat kepentingan	Desain baru	Eksisting	Historis
Rendah	3.00 - 3.50	2.00 - 2.50	3.25 - 3.50
Sedang	3.50 - 4.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.50
Tinggi	3.75 - 4.50	2.75 - 3.50	3.75 - 4.75

*Sumber : Nowaks and Kaszynska (2011)*

### 2.2.8. Variabel Tahanan

Untuk mendapatkan nilai variabel statistik tahanan, lebih dahulu perhitungan kapasitas atau kuat ultimit dari komponen struktur didapatkan dengan proses analisis secara deterministik. Kuat ultimit komponen dikalikan dengan faktor bias dan koefisien variasi dari komponen struktur akan menghasilkan nilai rata-rata tahanan seperti pada persamaan berikut :

$$\mu_R = \lambda_R \times R_n \quad (2.9)$$

Dimana:

$\mu_R$  = rata-rata untuk tahanan

$\lambda_R$  = faktor bias untuk tahanan

$R_n$  = kuat ultimit komponen

Faktor bias untuk tahanan didapatkan dari persamaan berikut :

$$\lambda_R = \lambda_M \times \lambda_F \times \lambda_P \quad (2.10)$$

Dimana:

$\lambda_R$  = faktor bias untuk tahanan

$\lambda_M$  = faktor bias untuk faktor material

$\lambda_F$  = faktor bias untuk faktor fabrikasi

$\lambda_P$  = faktor bias untuk faktor profesional

Sedangkan untuk masing-masing nilai faktor bias dari faktor-faktor tersebut ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut.

$$\lambda_M = \sqrt{\lambda_{fc} \times \lambda_{fy}} \quad (2.10.b)$$

$$\lambda_F = \sqrt{\lambda_d \times \lambda_{As} \times \lambda_{\phi}} \quad (2.10.c)$$

Untuk nilai faktor bias dari faktor profesional berdasarkan komponen struktur menurut Ellingwood, et al (1980), seperti pada tabel 2.4.

Sedangkan koefisien variasi dinyatakan dalam persamaan :

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2} \quad (2.12.a)$$

Dimana:

$V_R$  = koefisien variasi untuk tahanan



VM = koefisien variasi untuk faktor material

VF = koefisien variasi untuk faktor fabrikasi

VP = koefisien variasi untuk faktor profesional

Tabel 2.4.faktor profesional

Komponen	$\lambda$	V
Balok beton-Lentur	1.02	0.06
Balok beton-geser tanpa sengkang	1.16	0.11
Balok beton-geser dengan sengkang	1.075	0.10
Kolom aksial, sengkang	1.00	0.08
Kolom aksial, spiral	1.05	0.06
Plat satu arah-Lentur	1.02	0.06
Plat satu arah-Geser	1.16	0.11
Plat dua arah-Geser	1.16	0.11
Kuat tumpu	1.02	0.06

Sumber : Ellingwood, dkk (1980)

Sedangkan untuk masing-masing nilai koefisien variasi dari faktor-faktor tersebut ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut.

$$V_M = \sqrt{V_{f'c}^2 + V_{fy}^2} \quad (2.12.b)$$

$$V_f = \sqrt{V_d^2 + V_{As}^2 + V_{\phi}^2} \quad (2.12.c)$$

Dimana :

$f'c$  = kuat tekan beton

$fy$  = kuat leleh tulangan

$d$  = jarak spasi tulangan

$As$  = luas tulangan

$\phi$  = diameter tulangan

Sedangkan untuk koefisien variasi faktor profesional dapat dilihat pada tabel 2.4 di atas.

Nilai simpangan baku dari komponen struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_R = \mu_R \cdot V_R \quad (2.13)$$

Dimana :

$\mu_R$  = rata-rata untuk tahanan

$V_R$  = koefisien variasi untuk tahanan

### 2.2.9. Variabel Efek Beban

Efek pembebanan merupakan gaya dalam dari hasil analisis struktur yang bekerja pada komponen struktur. Gaya aksial, geser, dan momen yang digunakan berupa gaya-gaya dari beban D dan L baik berupa aksial dan momen.

Menurut Alreedy(2013), nilai efek pembebanan didapatkan dari kombinasi beban mati dan beban hidup seperti yang dikemukakan Galambos sebagai berikut :

$$\mu_S = \lambda_D D + \lambda_L L \quad (2.14)$$

Sedangkan koefisien variasi untuk variabel beban menurut Galambos and Yu (1984), dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V_S = \frac{\sqrt{(V_D D)^2 + (V_L L)^2}}{\mu_S} \quad (2.15)$$

Dimana :

$\mu_S$  = rata-rata beban

$V_S$  = koefisien variasi beban

$\lambda_D$  = faktor bias beban mati

$\lambda_L$  = faktor bias beban hidup

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

Sedangkan faktor bias untuk beban dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5.faktor bias dan koefesien variasi beban

Beban	Faktor bias ( $\lambda$ )	Koefesien variasi (V)
Mati	1.05	0.1
Hidup	1	0.18

Sumber : Nowak, et al (1980)

Nilai simpangan baku dari beban dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_s = \mu_s \cdot V_s \quad (2.16)$$

Dimana :

$\sigma_s$  = simpangan baku efek beban

$\mu_s$  = rata-rata untuk beban

$V_s$  = koefisien variasi untuk beban

#### 2.2.10. Kalibrasi faktor keamanan partial (*partial safety calibration*)

Nilai faktor reduksi kapasitas atau beban dari kondisi struktur dapat ditentukan dengan menghitung nilai faktor keamanan parsial (*partial safety factor*). Nilai faktor tahanan ( $\phi$ ) dan faktor beban ( $\gamma$ ) dapat disusun berdasarkan parameter tahanan dan beban dengan nilai indek reliabilitas yang ditentukan.

Nilai faktor tahanan dengan data berdistribusi normal dapat dihitung seperti berikut.

$$\phi = (1 - \chi \cdot \beta \cdot V_R) \cdot \lambda_R \quad (2.17.a)$$

Dimana:

$$\chi = \frac{\sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}}{\sigma_D + \sigma_L} \quad (2.17.b)$$

Sedangkan nilai faktor beban dengan data berdistribusi normal pada beban mati dan beban hidup dapat dihitung seperti berikut.

$$\gamma_D = 1 + \frac{\mu_R - \mu_S}{\sigma_R + \sigma_S} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}}{\sigma_D + \sigma_L} \cdot V_D \quad (2.18.a)$$

$$\gamma_L = 1 + \frac{\mu_R - \mu_S}{\sigma_R + \sigma_S} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}}{\sigma_D + \sigma_L} \cdot V_L \quad (2.18.b)$$

Dimana:

$\lambda_R$  = faktor bias tahanan

$\beta$  = indek reliabilitas

$\chi$  = koefesien korelasi

$\mu_R$  = rata-rata untuk tahanan

$\sigma_R$  = simpangan baku tahanan

$\mu_S$  = rata-rata untuk efek beban

$\sigma_s$  = simpangan baku efek beban

$\mu_D$  = rata-rata untuk efek beban mati

$\sigma_D$  = simpangan baku efek beban mati

$\mu_L$  = rata-rata untuk efek beban hidup

$\sigma_L$  = simpangan baku efek beban hidup

$V_D$  = koefesien variasi untuk beban mati

$V_L$  = koefesien variasi untuk beban hidup

## 2.2.11. Reliabilitas Komponen Kolom

### 2.2.11.1. Kolom dengan beban aksial dan lentur

Kolom berfungsi meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi bawahnya hingga sampai tanah melalui pondasi. Kolom merupakan struktur tekan sehingga keruntuhan kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. Komponen struktur yang menahan tekan atau kolom dapat dibebani oleh beban aksial dan lentur, sehingga kolom dengan beban aksial dan eksentrisitas satu arah disebut sebagai

kolom uniaksial sedangkan kolom dengan beban aksial dan eksentrisitas dua arah disebut kolom biaksial.

Nilai tahanan kolom dapat dihitung menurut persamaan berikut.

$$R = \sqrt{P^2 + \left(\frac{M}{h}\right)^2} \quad (2.19)$$

Dimana:

P = gaya aksial kolom

M = gaya lentur kolom

h = tinggi penampang kolom

Selain itu, kelangsingan kolom harus diperhitungkan sehingga kolom dapat dikategorikan sebagai kolom pendek atau kolom langsing.

Kolom harus mempertimbangkan kelangsingan, dimana nilai kelangsingan dihitung dari panjang efektif (k) dan panjang tanpa penumpu (Lu). Kelangsingan pada kolom dapat berpengaruh terhadap kegagalan kolom yang disebabkan oleh tekuk, sehingga dengan mengetahui nilai kelangsingan batang maka analisa kolom dapat ditentukan berupa kolom pendek atau kolom langsing.

Selain itu, untuk sistem dengan pengaku yang dapat mencegah goyangan dapat ditentukan bahwa nilai  $k \leq 1$  sedangkan untuk sistem tanpa pengaku  $k \geq 1$ . Angka kelangsingan kolom dengan dan tanpa sistem pengaku dapat dihitung menurut persamaan berikut:

$$\frac{kLu}{r} < 34-12 \left( \frac{M1b}{M2b} \right) \quad (2.20.a)$$

$$\frac{kLu}{r} < 22 \quad (2.20.b)$$

Dimana :

k = panjang efektif

Lu = panjang tanpa penumpu

r = jari-jari inersia,

M1b = momen lentur ujung terkecil

M2b = momen lentur ujung terbesar

Nilai panjang efektif (k) pada kolom dapat ditentukan seperti berikut:

k = 1, untuk kolom dengan ujung sendi-sendi

k = 0.5, untuk kolom dengan ujung jepit-jepit

k = 0.7, untuk kolom dengan ujung jepit-sendi

Sebagai pendekatan nilai jari-jari inersia dapat ditentukan sebesar 0.3h untuk kolom persegi dan 0.25h untuk kolom bulat (McCormack, 1998).

#### 2.2.11.2. Kolom dengan beban aksial dan lentur dua arah (biaksial)

Posisi kolom tertentu seperti pada sudut dalam bangunan atau kolom yang memikul balok dengan beban besar dapat menyebabkan lentur dua arah pada kolom. Kolom dengan lentur dua arah khususnya pada kolom bulat dapat dihitung dengan mengkombinasikan kedua momen atau eksentrisitasnya seperti pada persamaan berikut.

$$M_n = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (2.21.a)$$

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} \quad (2.21.b)$$

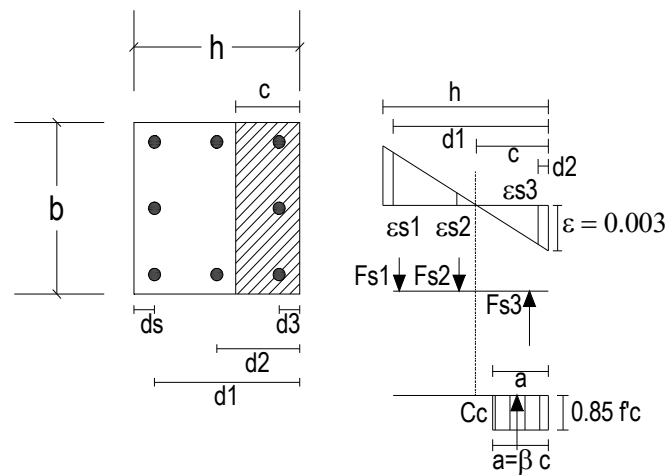
Kolom persegi dengan lentur dua arah dapat dihitung kapasitasnya dengan metode kontur beban dari Bressler (Wang, 1993), bila digunakan penampang persegi dengan tulangan yang disebar merata di empat sisi seperti pada persamaan berikut:

$$M_{ny} + M_{nx} \left( \frac{b}{h} \right) \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) = M_{0y} \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \geq \frac{b}{h} \quad (2.22.a)$$

$$M_{nx} + M_{ny} \left( \frac{h}{b} \right) \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) = M_{0x} \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h} \quad (2.22.b)$$

Dimana:

- $M_{nx}$  = kapasitas momen arah x  
 $M_{ny}$  = kapasitas momen arah y  
 $M_{0x}, M_{0y}$  = momen lentur uniaksial ekuivalen  
 $b$  = lebar penampang kolom  
 $h$  = tinggi penampang kolom  
 $\beta$  = konstanta lentur biaksial, harga taksiran  $\beta = 0,65$



Gambar 2.2. Diagram tegangan dan regangan kolom

Sedangkan pada kolom bulat, untuk mendapatkan nilai tahanan kolom beton ( $P_n$  dan  $M_n$ ) dihitung dengan cara mentransformasikan penampang kolom bulat. Nilai  $P_n$  dan  $M_n$  didapatkan setelah penampang kolom bulat ditransformasikan menjadi kolom persegi.

Dalam menghitung tahanan nominal kolom bulat dapat dilakukan dengan metode luas penampang kolom persegi ekuivalen. Penampang kolom bulat ditransformasikan menjadi kolom persegi dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Tebal penampang ke arah lenturan diambil  $0,8 D$ , dimana  $D$  adalah diameter luar kolom bulat,

$$h = 0.8D \quad (2.23.a)$$

2. Lebar kolom segi-empat ekuivalen  $b$ , adalah :

$$b = \frac{A_g}{h} \quad (2.23.b)$$

3. Luas tulangan  $A_{st}$  ekuivalenditentukan dengan cara menempatkan seluruh tulangan total pada dua lapis sejajar berjarak  $1/3(2D_s)$  dalam arah lentur, dimana  $D_s$  adalah diameter lingkaran tulangan terluar dari pusat ke pusat.

$$A_{s_1} = A_{s_2} = \frac{1}{2} A_{s \text{ total}} \quad (2.23.c)$$

### 2.2.11.3. Kolom dengan beban geser

Selain gaya aksial dan lentur, gaya geser yang terjadi pada kolom juga dapat menyebabkan kegagalan. Gaya geser yang terjadi pada kolom interior umumnya lebih kecil daripada kolom eksterior khususnya yang melentur dengan kelengkungan secara ganda. Kuat geser kolom yang terjadi dapat dihitung menurut persamaan berikut.

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2.24)$$

Dimana :

$V_c$  = gaya geser nominal

$N_u$  = gaya aksial

$f'_c$  = kuat tekan beton

$b_w$  = lebar penampang kolom

$d$  = tinggi efektif penampang

Geser aktual ( $V_u$ ) yang terjadi harus kurang dari  $V_c/2$ , jika tidak maka penambahan tulang geser dengan jarak yang lebih rapat sangat mungkin dilakukan.



### 2.2.12. Reliabilitas Komponen Lentur balok

Pada komponen lentur, analisis reliabilitas mempertimbangkan dua kondisi batas, yaitu : kuat batas lentur dan kuat batas geser. Tahanan lentur komponen balok dapat dihitung menurut persamaan berikut :

$$R_n = A_s \cdot f_y \cdot d \left( 1 - \frac{A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} \right) \quad (2.25)$$

Dimana:

- $A_s$  = luas tulangan
- $f_y$  = kuat leleh tulangan
- $f'_c$  = kuat tekan beton
- $b$  = lebar penampang
- $d$  = tinggi penampang efektif

### 2.2.13. Reliabilitas komponen geser balok

Tahanan geser komponen balok dapat dihitung menurut persamaan berikut :

$$V_u = V_c + V_s \quad (2.26.a)$$

$$V_n = 0,8 V_u \quad (2.26.b)$$

$$V_c = \left( \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) b_w d \quad (2.26.c)$$

$$V_s = A_v f_y \frac{d}{s} \quad (2.26.d)$$

$$A_v = \frac{b_w s}{3 f_y} \quad (2.26.e)$$

Dimana :

- $V_u$  = gaya geser balok
- $V_n$  = tahanan geser balok
- $V_c$  = tahanan geser balok beton
- $V_s$  = tahanan geser tulangan
- $b_w$  = lebar penampang balok

$f_y$	= kuat leleh tulangan
$f_c$	= kuat tekan beton
$A_s$	= luas tulangan tarik
$A_s'$	= luas tulangan tekan
$d$	= jarak tepi ke tulangan tarik
$d_l$	= jari tepi tekan ke tulangan tarik
$\rho'$	= rasio tulangan tekan
$A_v$	= luas tulangan geser minimum
$S$	= jarak antara tulangan geser

#### **2.2.14. Metode Perkuatan Struktur**

Menurut Lu (2010), Penurunan kualitas dan kegagalan konstruksi akibat penggunaan dan pemeliharaan yang kurang dapat membahayakan keamanan dan pelayanan dari gedung. Penggantian struktur baru pada bangunan dinilai tidak menguntungkan secara ekonomi selain juga kapasitas dukung dari struktur bawah yang tidak memenuhi persyaratan. Perkuatan merupakan pendekatan yang tepat karena tidak membutuhkan biaya yang sangat besar dan tanpa merubah atau menambah struktur baru.

##### **2.2.14.1. Metode Perkuatan Kolom Beton**

Metode perkuatan pada kolom beton mempertimbangkan beberapa perkuatan dengan meningkatkan kuat tekan beton menggunakan material komposit pada kolom. Jenis perkuatan struktur kolom diantaranya menggunakan material komposit berupa CFRP (*Carbon Fibre Reinforcement Polymer*) dan penambahan lapis plat baja (*steel plate*) menggunakan material baja yang berbentuk plat strip.

##### **2.2.14.2. Metode perkuatan CFRP (Carbon Fibre Reinforcement Polymer)**

Kuat nominal pada kolom beton dengan FRP dipengaruhi oleh konfigurasi tulangan, jarak antar tulangan dan jenis sengkang. Menurut Bank(2006), kuat tekan

kolom beton dengan beban eksentris dalam kondisi seimbang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_n = 0.85 \psi f_{cc} b a + A_{st} f_y + A_s' f_s \quad (2.27.a)$$

$$M_n = 0.85 \psi f_{cc} b a \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_{si} f_{si} \left( \frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{si}' f_{si}' \left( d_i - \frac{h}{2} \right) \quad (2.27.b)$$

Dimana :

$P_n$  = kuat tekan nominal kolom

$M_n$  = Momen nominal kolom

$A_{si}$  = luas tulangan

$f_{si}$  = tegangan pada tulangan

$d_i$  = jarak tulangan ke sisi beton

Dimana nilai blok tekan  $c$  dan  $\epsilon_{cu}$  pada kondisi seimbang, dihitung menurut persamaan berikut :

$$c = d \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{sy} + \epsilon_{cu}} \quad (2.28.a)$$

$$\epsilon_{cu} = \epsilon'_c \left( 1.5 + 12 K_b \frac{f_l}{f'_c} \left( \frac{\epsilon_{fc}}{\epsilon'_c} \right)^{0.45} \right) \quad (2.28.b)$$

Pola tegangan-regangan untuk menentukan kuat nominal terhadap gaya aksial dan momen dari kolom beton dengan perkuatan CFRP, dihitung untuk menentukan nilai kuat tekan ( $f'_{cc}$ ), regangan efektif ( $\epsilon_{fe}$ ), dan koefesien kekangan lateral ( $K_a$  dan  $K_b$ ). Nilai-nilai tersebut dapat dihitung menurut persamaan-persamaan berikut :

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85 (A_g - A_{st})} \left( \frac{P_{n_{req}}}{0.80 \phi} - A_{st} f_y \right) \quad (2.29)$$

$$\epsilon_{fe} = \min (0.004, k \epsilon_{fu}) \quad (2.30)$$

$$K_a = \frac{A_e}{A_c} \left( \frac{b}{h} \right)^2 \quad (2.31.a)$$

$$K_b = \frac{A_e}{A_c} \left( \frac{h}{b} \right)^{0.5} \quad (2.31.b)$$

Nilai  $K_a$  dan  $K_b$  untuk kolom bulat menurut ACI.440.2R(2008), ditentukan sebagai berikut :

$$K_a = 1 \quad (2.32.a)$$

$$K_b = 1 \quad (2.32.b)$$

Luas beton dan luas efektif CFRP untuk menentukan nilai koefesien kekangan ACI.440R (2008), ditentukan sebagai berikut :

$$A_c = A_g (1 - \rho_g) \quad (2.33.a)$$

$$A_e = 1 - \frac{\left[ \left( \frac{b}{h} \right) (h - 2rc)^2 + \left( \frac{h}{b} \right) (b - 2rc)^2 \right]}{3 A_g} - \rho_g \quad (2.33.b)$$

Nilai kuat kekangan lateral untuk kolom segi empat dan kolom bulat dihitung menurut persamaan 2.34. sebagai berikut :

$$f_l = \frac{f'_{cc} - f'_c}{3,3 \cdot K_a} \quad (2.34)$$

Dimana :

$A_c$  = luas penampang kolom beton menurut persamaan

$A_e$  = luas penampang beton dengan kekangan menurut persamaan

$A_g$  = luas penampang kolom

$b$  = lebar penampang

$c$  = tinggi blok tekan

$d$  = jarak tepi tekan ke tulangan tarik

$E_f$  = modulus elastisitas tarik FRP

$\epsilon_{ccu}$  = regangan tekan ultimit beton dengan kekangan

$\rho_g$  = rasio tulangan dengan luas kolom

$f_c$	= kuat tekan kolom beton
$f_y$	= kuat leleh tulangan baja
$f_l$	= tegangan kekangan dari FRP jacket
$f'_{cc}$	= kuat tekan maksimum beton dengan kekangan
$\epsilon_{fe}$	= regangan efektif CFRP
$\epsilon_{fe}$	= regangan tarik CFRP
$n_{FRP}$	= jumlah lapis CFRP
$D$	= diameter kolom bulat
$\psi_f$	= faktor reduksi lingkungan

#### 2.2.14.3. Metode perkuatan dengan pelapisan plat baja (*steel strips*)

Metode perkuatan dengan membungkus penampang dengan pelat baja memiliki beberapa keuntungan, seperti : peningkatan kapasitas kuat tanpa penambahan dimensi penampang yang terlalu besar. Metode pelapisan penampang dapat berupa pemasangan profil baja L di empat sudut pada kolom persegi dengan plat strip yang dilas mengelilingi kolom. Pada kolom bulat, pelapisan dilakukan dengan plat strip yang dipasang mengelilingi kolom.

Lekatan antara pelat baja dan beton dapat dilakukan menggunakan bahan epoxy atau sejenis sehingga metode perkuatan ini bisa juga disebut sebagai perkuatan *wet enclosing steel method* (Lu, 2010).

Kolom dengan penambahan pelat baja bersifat sebagai komposit sehingga kuat tekan komposit ( $f'_{cc}$ ) khususnya pada kolom bulat dapat dihitung seperti berikut.

$$f'_{cc} = f'_{co} \left( -1,254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f_{la}}{f'_{co}}} - 2 \cdot \frac{f_{la}}{f'_{co}} \right) \quad (2.35)$$

Dimana :

$f'_{cc}$  = kuat kekangan kolom dengan *steel strips*

$f'_{co}$  = kuat tekan beton awal

$f'_{la}$  = tekanan *confinement* efektif

Sedangkan nilai tekanan *confinement* efektif untuk kolom bulat dengan kekangan plat strip dapat dihitung seperti berikut.

$$f'_{la} = k_s \cdot \frac{2 \cdot f_{st} \cdot t}{d} \quad (2.36)$$

Dimana :

$f'_{la}$  = tekanan *confinement* efektif

$k_s$  = faktor efesiensi

$f_{st}$  = tekanan geser efektif

$t$  = tebal plat strip

$d$  = diameter kolom

nilai faktor efesiensi dapat dihitung menurut persamaan berikut.

$$k_s = \frac{A_e}{A} = \frac{\left(1 - \frac{s}{2 \cdot d}\right)^2}{1 - \rho} \quad (2.37)$$

Dimana :

$s$  = jarak vertikal antara plat strip

$d$  = diameter kolom

$\rho$  = rasio tulangan

Kuat lekatan antara plat dengan beton epoxy dapat dihitung dengan membandingkan kuat tarik plat terhadap kuat tarik beton. Kuat lekatan dapat dihitung menurut persamaan berikut.

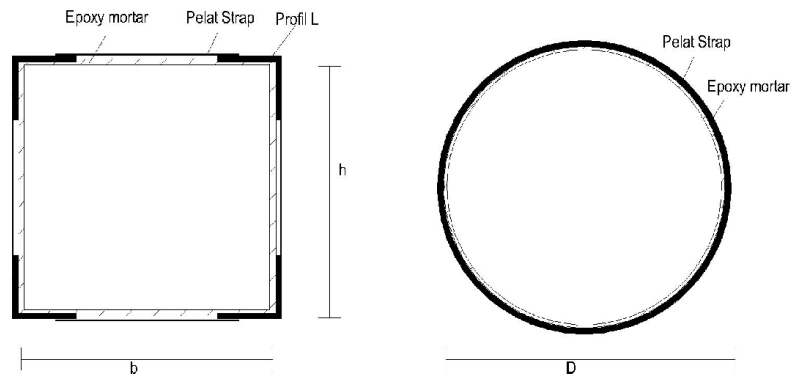
$$\tau = \frac{2 \cdot A_s \cdot f_y}{A_b} \quad (2.38)$$

Dimana :

$A_s$  = luas plat strip

$f_y$  = tegangan leleh plat strip

$A_b$  = luas lekatan



Gambar 2.3. Penampang kolom dengan *steel plate*

### 2.2.15. Metode Perkuatan Balok Beton

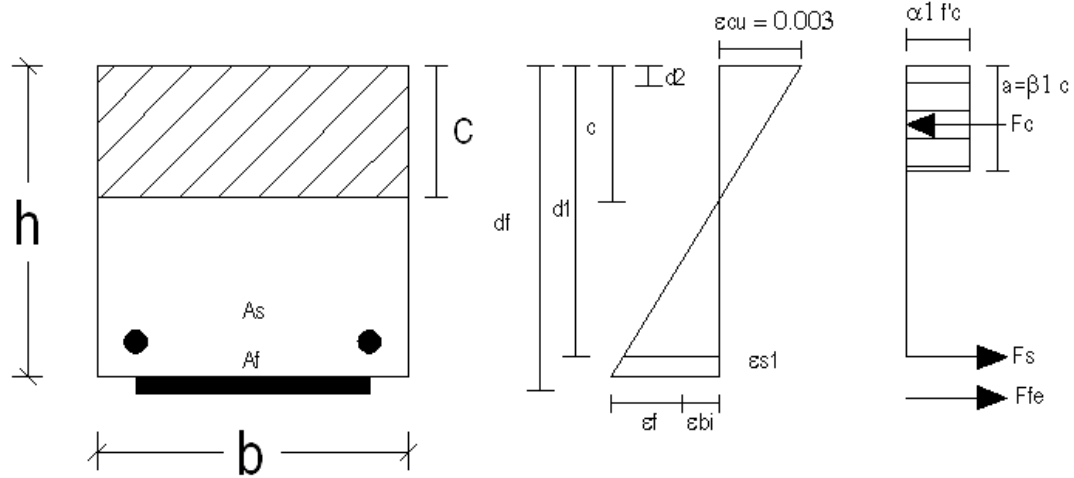
Metode perkuatan yang digunakan pada balok beton mempertimbangkan kekuatan balok terhadap lentur dan geser. Lembaran CFRP digunakan untuk perkuatan lentur di arah longitudinal dan geser balok di arah transversal. Perkuatan dengan penambahan lapis plat baja juga dilakukan untuk perkuatan lentur dan geser balok beton.

#### 2.2.15.1. Perkuatan lentur dengan CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*)

Pada perkuatan lentur dengan FRP, perhitungan kuat lentur nominal balok harus mempertimbangkan tegangan, regangan serta lekatan dari FRP terhadap beton.

Untuk mengetahui kemampuan lekatan FRP, digunakan persamaan untuk menghitung koefisien lekatan sebagai berikut :

$$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL} (d_f - kd)}{E_c I_{cr}} \quad (2.39)$$



Gambar 2.4. Distribusi tegangan-regangan balok dengan CFRP

Dengan asumsi nilai regangan maksimum pada beton sebesar 0,003, maka regangan efektif yang terjadi pada FRP menurut ACI.440.R(2008), dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} < \epsilon_{fud} \quad (2.40)$$

Setelah mendapatkan nilai regangan maka nilai tegangan FRP dapat dihitung menurut persamaan berikut :

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe} \quad (2.41)$$

Nilai regangan dan tegangan baja tulangan di daerah non prategang dapat dihitung menurut persamaan berikut :

$$\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \left( \frac{d - c}{h - c} \right) \quad (2.42)$$

$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y \quad (2.43)$$

Faktor tegangan-tegangan pada blok beton dihitung menurut persamaan berikut :



$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c} \quad (2.44.a)$$

$$\alpha_1 = \frac{3\varepsilon'_c \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3\beta_1 2\varepsilon_c^2} \quad (2.44.b)$$

$$\varepsilon'_s = \frac{1.7 f'_c}{E_c} \quad (2.44.c)$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas, posisi garis netral (c) dapat dihitung berdasarkan gaya dalam yang terjadi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_e}{\alpha_1 f_c \beta_1 b} \quad (2.45)$$

Kapasitas momen nominal perkuatan lentur dengan menggunakan FRP dapat dihitung dengan nilai faktor reduksi ( $\psi_f$ ) untuk FRP pada perkuatan lentur sebesar 0,85, dengan persamaan berikut.

$$M_n = A_s f_s \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_e \left( d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (2.46)$$

Dimana :

$M_n$  = momen nominal balok

$A_s$  = luas penampang tulangan kolom

$A_f$  = luas CFRP

$b$  = lebar penampang

$c$  = tinggi blok tekan

$d$  = jarak tulangan ke sisi beton

$d_f$  = tinggi bersih CFRP

$\psi_f$  = faktor reduksi FRP

$E_c$  = modulus elastisitas beton

$E_f$  = modulus elastisitas tarik FRP

$\varepsilon'_c$  = regangan tekan aksial beton

$\varepsilon'_{cu}$	= regangan tekan beton
$\varepsilon'_{bi}$	= koefesien lekatan
$\varepsilon'_{fe}$	= regangan efektif FRP
$\varepsilon'_{fu}$	= regangan ultimit FRP
$\varepsilon'_{fd}$	= regangan ultimit lekatan FRP
$\alpha_1$	= faktor tegangan blok tekan beton ekuivalen
$\beta_1$	= faktor tinggi tegangan blok tekan ekuivalen
$f_c$	= kuat tekan kolom beton
$f_s$	= kuat leleh tulangan baja
$f_y$	= kuat leleh tulangan baja
$f_{fe}$	= tegangan efektif dari FRP
$M_{DL}$	= momen ultimit balok
$K$	= koefesien retak beton
$I_{cr}$	= inersia retak

#### 2.2.15.2. Perkuatan geser dengan CFRP

Kuat geser yang diberikan oleh CFRP dapat ditentukan dengan menghitung resultan tegangan tarik di sisi beton dan CFRP menurut persamaan berikut :

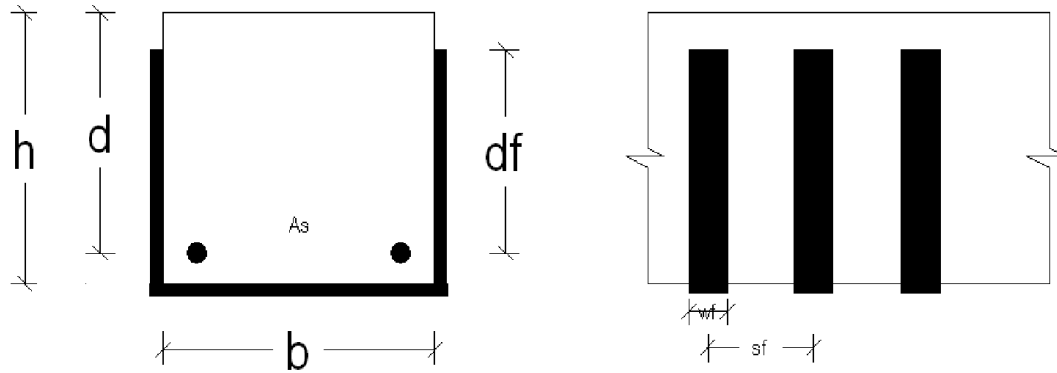
$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \quad (2.47)$$

Dengan  $A_{fv}$  dihitung menurut persamaan :

$$A_{fv} = 2 n_t f_w f \quad (2.48)$$

Tegangan dari perkuatan geser CFRP dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f \quad (2.49)$$



Gambar 2.5. Pemasangan lapis FRP untuk perkuatan geser balok

Regangan efektif dari lapisan FRP dapat dihitung berdasarkan cara pemasangan lapisan FRP. Untuk pelapisan bentuk U pada balok, nilai regangan efektif CFRP dapat dihitung sebagai berikut :

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \leq 0.004 \quad (2.50.a)$$

Untuk pelapisan secara menyeluruh pada balok, nilai regangan efektif dihitung sebagai berikut :

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0,75 \varepsilon_{fu} \quad (2.50.b)$$

Faktor lekatan CFRP dengan beton dihitung dengan menentukan nilai koefesien reduksi lekatan dan faktor modifikasi lekatan yang dihitung menurut persamaan-persamaan berikut :

$$K_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11,900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75 \quad (2.51.a)$$

$$k_1 = \left( \frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \quad (2.51.b)$$

Untuk lapisan CFRP dengan bentuk U, nilai  $k_2$  dihitung menurut persamaan 2.55.c dan untuk lapisan pada dua sisi menurut persamaan 2.55.d.

$$k_2 = \frac{df_v - L_e}{df_v} \quad (2.52.a)$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - 2 L_e}{d_{fv}} \quad (2.52.b)$$

Sedangkan panjang lekatan antara beton dengan CFRP dihitung menurut persamaan berikut :

$$L_e = \frac{23300}{(n f_t f E_f)^{0.58}} \quad (2.53)$$

Kuat geser nominal beton dengan CFRP dapat dihitung menurut persamaan berikut :

$$V_n = (V_c + V_s + \psi_f V_f) \quad (2.54)$$

Dimana :

$V_n$  = kuat nominal geser balok

$V_c$  = kuat geser beton

$V_s$  = kuat geser tulangan balok

$V_f$  = kuat geser CFRP

$\psi_f$  = faktor reduksi

0,85 untuk pelapisan bentuk U dan dua sisi

0,95 untuk pelapisan secara menyeluruh

$A_{fv}$  = luas perkuatan CFRP

$L_e$  = panjang lekatan beton dan CFRP

$k_1, k_2$  = faktor modifikasi lekatan beton dan CFRP

$K_v$  = faktor reduksi lekatan beton dan CFRP

$d_{fv}$  = tinggi efektif CFRP

$n$  = jumlah lapis CFRP

$t_f$  = tebal lapis CFRP

$w_f$  = lebar lapis CFRP

$E_f$  = modulus elastisitas CFRP

$\varepsilon_{fe}$  = regangan efektif CFRP

$\varepsilon_{fu}$  = regangan ultimit CFRP

### 2.2.15.3. Perkuatan lentur dengan pelat baja (*steel plate*)

Menurut Lu (2010), Metode perkuatan pada balok dengan pelapisan penampang untuk perkuatan lentur dan perkuatan geser dapat dianalisa secara terpisah.

Kuat nominal balok dengan perkuatan lentur berupa *steel plate* dapat dihitung dengan menjumlahkan momen nominal dari penampang eksisting dengan penampang beton tambahan menurut persamaan berikut :

$$M_n = A_{s_1} \cdot f_{y_1} \left( d_1 - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A_{s_2} \cdot f_{y_2} \left( d_2 - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (2.55)$$

$$c = \frac{A_{s_1} \cdot f_{y_1} + A_{s_2} \cdot f_{y_2}}{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b} \quad (2.56)$$

Sedangkan kuat geser yang didapatkan dari penambahan plat baja dapat dihitung seperti berikut.

$$V_n = V_{c_1} + V_{s_1} \quad (2.57.a)$$

$$V_n = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w \cdot d \quad (2.57.b)$$

$$V_s = \frac{A_v f_{y_2} d_{av}}{s} \quad (2.57.c)$$

$$A_v = A_{v_1} + A_{v_2} \quad (2.57.d)$$

Dimana :

$M_n$  = momen nominal balok setelah perkuatan

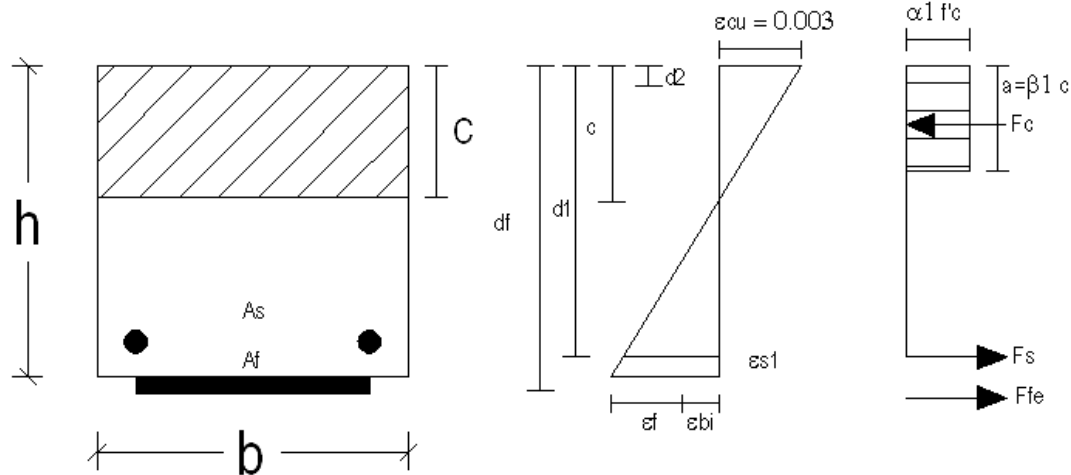
$C$  = momen nominal balok eksisting

$A_{s_1}$  = luas tulangan tarik

$A_{s_2}$  = luas plat

$f_{y_1}$  = kuat leleh tulangan

$f_{y2}$  = kuat leleh plat  
 $d_{av}$  = tinggi efektif beton ke plat



Gambar 2.6. Diagram tegangan dan regangan balok dengan *steel plate*

#### 2.2.15.4. Perkuatan geser dengan pelat baja (*steel plate*)

Kuat geser yang diberikan oleh plat baja dapat yang dipasang pada kedua sisi balok secara simetri dapat ditentukan menurut persamaan berikut :

$$V_n = V_{c1} + V_{s1} + V_{s2} \quad (2.58.a)$$

$$V_n = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w \cdot d_2 \quad (2.58.b)$$

$$V_{s1} = \frac{A_{v1} f_{y1} d_1}{s} \quad (2.58.c)$$

$$V_{s2} = \frac{A_{v2} f_{y2} d_{av}}{s} \quad (2.58.d)$$

$$A_{v1} = \frac{\pi}{4} \cdot \phi^2_{\text{senggang}} \quad (2.58.e)$$

$$A_{v2} = b_{\text{plat}} \cdot t_{\text{plat}} \quad (2.58.f)$$

Dimana :

$V_n$  = geser nominal balok setelah perkuatan

$V_{s1}$  = geser nominal tulangan

$V_{s2}$  = geser nominal plat

$d_1$  = tinggi efektif balok eksisting

$d_{av}$  = tinggi efektif balok terhadap plat

$A_{v1}$  = luas tulangan sengkang

$A_{v2}$  = luas plat

$f_{y1}$  = kuat leleh tulangan

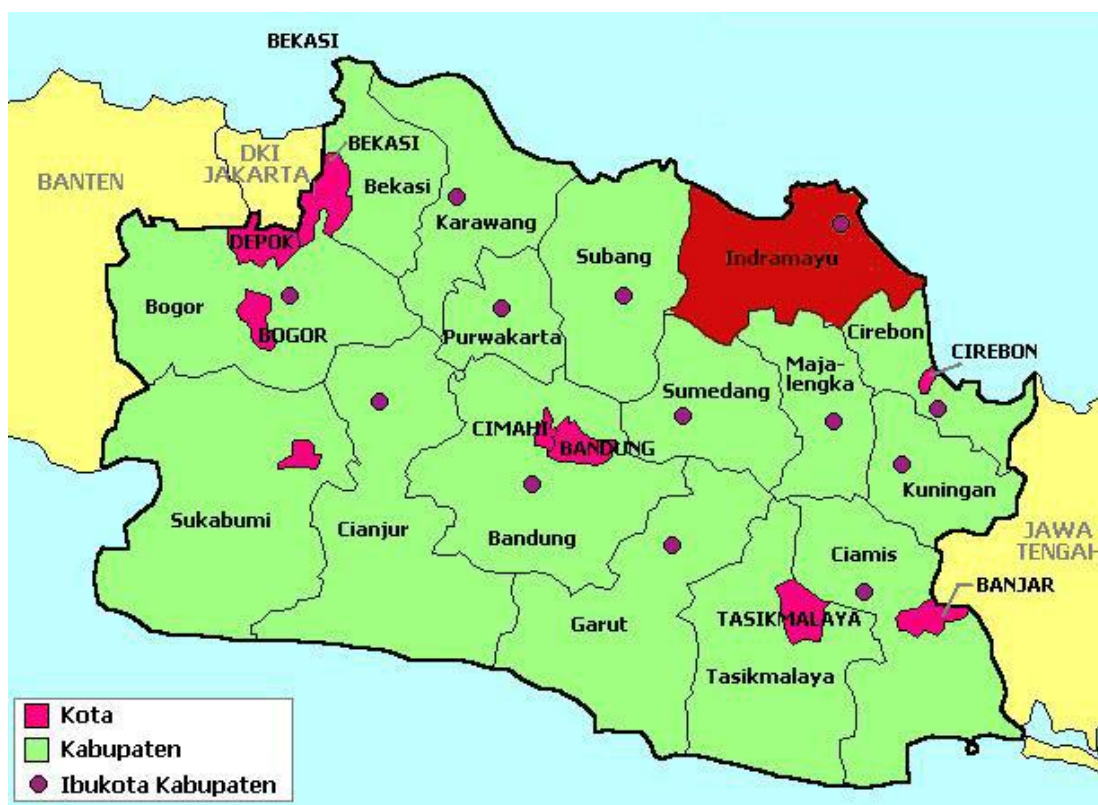
$f_{y2}$  = kuat leleh plat

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian sebagai bahan kajian penelitian berupa bangunan Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu yang terletak di Jalan Singaraja Km.3 Kabupaten Indramayu.



Sumber : <http://wiralodra.com>, 2009

Gambar 3.1. Peta Kabupaten Indramayu





*Sumber : survei penelitian, 2013*

Gambar 3.2. foto lokasi gedung perpustakaan UNWIR

### 3.2. Data umum gedung

Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra Indramayu berada di jalan Ir.H.Juanda Km 3 Singaraja Kecamatan Indramayu Kabupaten Indramayu Propinsi Jawa Barat. Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra menggunakan konstruksi beton bertulang sebagai struktur utama dan memiliki 2 lantai. Data teknis Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra adalah sebagai berikut :

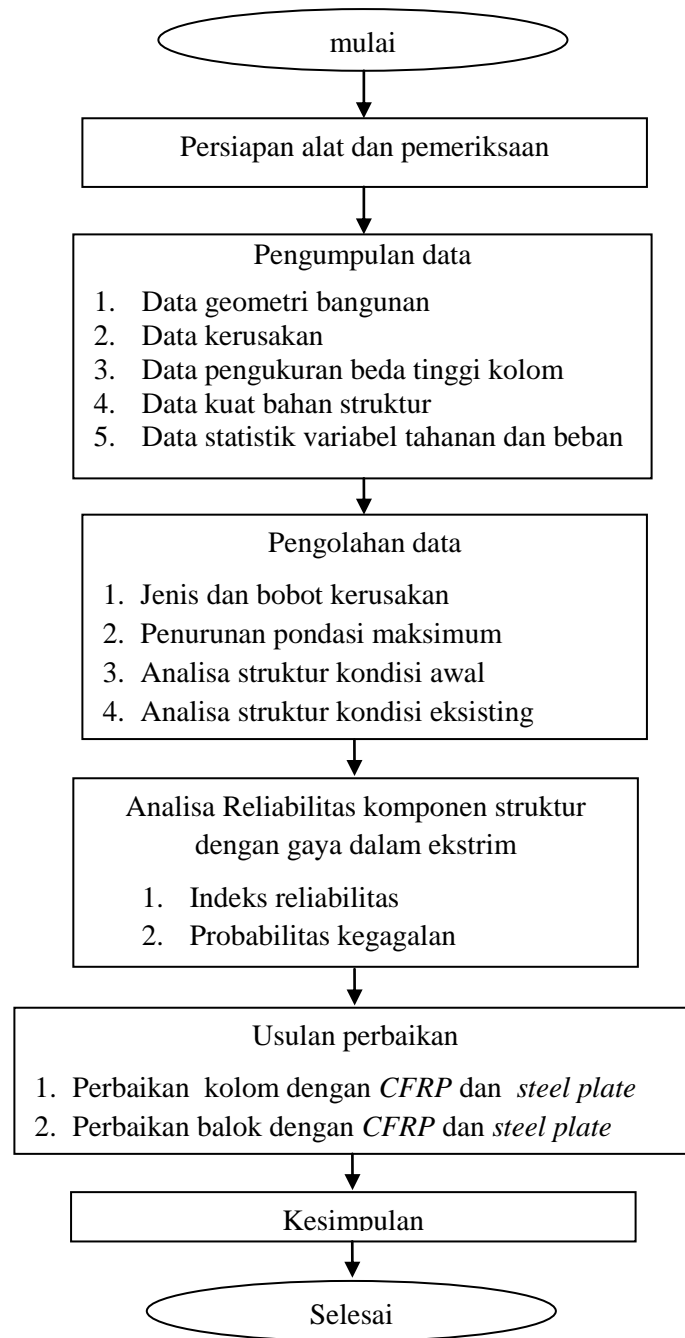
- |                             |                                              |
|-----------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Nama bangunan            | : Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra  |
| 2. Pemilik                  | : Yayasan Wiralodra                          |
| 3. Lokasi Bangunan          | : Jalan Ir.H.Juanda Km.3 Singaraja Indramayu |
| 4. Tahun Pembangunan        | : 2006                                       |
| 5. Luas Lantai Bangunan     | : 2.010 m <sup>2</sup>                       |
| 6. Tinggi Efektif Bangunan  | : 15,40 meter                                |
| 7. Lebar efektif bangunan   | : 10,00 meter                                |
| 8. Panjang efektif Bangunan | : 60,00 meter                                |
| 9. Rangka atap              | : Baja canai                                 |

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 10. Finishing Lantai  | : Keramik             |
| 11. Finishing Plafond | : Eternit             |
| 12. Fungsi Bangunan   | : Gedung perpustakaan |

### 3.3. Alur penelitian

Dalam rangka mengukur volume kerusakan, analisa reliabilitas, dan merencanakan perkuatan struktur bangunan gedung, dilakukan beberapa tahapan kegiatan sebagai berikut :

1. Pengamatan visual pada kerusakan bangunan (*visual check*). Hasil dari kegiatan berupa jumlah dan bobot kerusakan tersebut.
2. Pengukuran geometri komponen struktur, kegiatan ini berupa pengukuran langsung pada dimensi komponen dan jumlah tulangan terpasang.
3. Pengukuran penurunan/beda tinggi pondasi/kolom.
4. Pengujian mutu bahan beton, pengujian dilakukan dengan cara non destruktif yaitu dengan uji *hammer test*.
5. Analisa struktur kondisi awal untuk mencari gaya-gaya dalam struktur.
6. Analisa struktur pada kondisi eksisting untuk mencari gaya-gaya dalam struktur.
7. Membandingkan gaya-gaya dalam struktur dan menyeleksi komponen struktur yang memiliki kenaikan gaya dalam ekstrim.
8. Analisa reliabilitas dari komponen struktur, analisa menggunakan cara analitis dan probabilistik dengan simulasi *Monte Carlo* untuk mendapatkan nilai indeks reliabilitas dan probabilitas kegagalan, dimana simulasi dilakukan dengan beberapa iterasi yang mempertimbangkan parameter statistik tahanan dari data hasil pengukuran.
9. Usulan perkuatan struktur, pemilihan perkuatan struktur untuk komponen lentur maupun aksial didasarkan pada tingkat kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan.



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

### 3.4. Pengumpulan data

Data-data penelitian yang digunakan berupa data hasil pengukuran langsung di lapangan seperti : data geometri, data pengukuran beda tinggi kolom, data dimensi komponen struktur, data kerusakan, dan data kuat bahan dari komponen struktur. Data-data pendukung digunakan terkait dengan data statistik untuk menentukan nilai variabel tahanan. Data yang digunakan berupa nilai faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) dari variabel tahanan yang didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan (primer) serta data yang bersumber pada penelitian terdahulu (sekunder).

### 3.5. Peralatan dan pengukuran

Data hasil pemeriksaan secara visual dan pengukuran terhadap kerusakan dikelompokkan menurut jenis kerusakan, setelah itu dilakukan pembobotan besar kerusakan yang terjadi. Bobot kerusakan kemudian diperhitungkan secara kumulatif sehingga tingkat kerusakan pada gedung dapat diketahui.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan sebagai berikut :

#### 1. Meteran dan kaliper

Untuk mengetahui dimensi komponen struktur di lapangan, maka pengukuran dilakukan menggunakan meteran panjang 5 meter. Pengukuran komponen dilakukan dengan terlebih dahulu mengupas plesteran sehingga ukuran yang didapatkan berupa dimensi asli dari komponen struktur. sedangkan untuk mengukur panjang retakan dan kebutuhan pengukuran-pengukuran lain digunakan alat *roll meter* dan kaliper.



Gambar 3.4. Meteran dan kaliper

Untuk mengetahui tebal selimut beton, jarak antar tulangan, dan jumlah serta diameter tulangan digunakan alat ukur kaliper dengan terlebih dahulu dilakukan pembongkaran terhadap beton.

## 2. *Theodolit*

Pengukuran geometris diperlukan tidak hanya pada saat pembangunan saja, namun juga diperlukan untuk melakukan pekerjaan investigasi. Setelah berdiri, bangunan bisa saja mengalami perubahan baik akibat pengaruh alam maupun hal-hal teknis lainnya. Perubahan seperti kemiringan, penurunan pada komponen atau seluruh bangunan diukur besarnya untuk mengetahui tingkat keparahannya. Alat *Theodolit* dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui beda tinggi kolom bangunan untuk mencari besarnya penurunan pondasi.



Gambar 3.5. Alat ukur waterpass

### 3. *Schmidt Rebound Hammer Test*

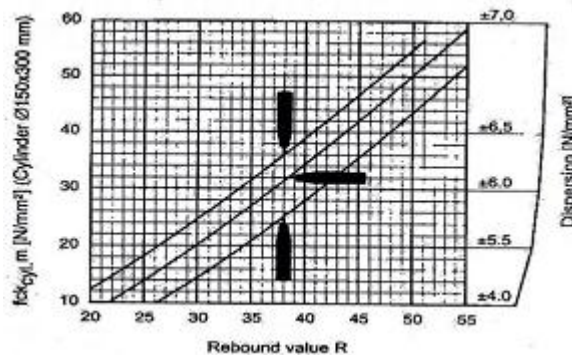
Pengujian hammer merupakan pengujian untuk mengetahui kekerasan dan kekuatan, yaitu kekuatan permukaan elemen beton. Oleh karena itu permukaan yang akan diuji perlu dibersihkan atau pembukaan selimut beton dan dihaluskan permukaannya. pengujian Hammer dapat dilakukan dengan meletakkan Hammer tegak lurus atau sejajar terhadap permukaan beton. Pembacaan skala diambil dari grafik yang terdapat pada alat penguji *Hammer*.



Gambar 3.6. Alat *Hammer test*

Pengambilan data pembacaan dilakukan berdasarkan ASTM C 805 dengan prosedur :

1. Pengambilan data hammer setidaknya dilakukan 12 titik per lokasi pengambilan, dimana setiap pembacaan dilakukan pada titik terpisah.
2. Jarak antar titik hammer paling kurang 1 inci atau 2.5 cm.
3. Pembacaan data dapat diabaikan apabila meninggalkan bekas yang dalam pada permukaan beton setelah tumbukan *Hammer*. Hal ini dilakukan juga apabila terdapat permukaan yang pecah atau hancur atau benda uji permukaan yang lainnya yang memiliki permukaan yang tidak sempurna.
4. Pembacaan data dapat diabaikan apabila terdapat angka yang melebihi rata-rata + 6 atau kurang dari rata-rata yang melebihi rata-rata - 6.
5. Menghitung nilai rata-rata yang baru dan tentukan hasil dari kuat tekan beton.



Gambar 3.7. Grafik pembacaan *Schmidt Rebound Hammer Test*

#### 4. Sondir

Peralatan yang digunakan untuk pengujian kuat geser tanah di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Wiralodra Indramayu, berupa *sondir test*.



Gambar 3.8. alat uji sondir

### 3.6. Pemodelan struktur

Pemodelan struktur bertujuan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam struktur pada kondisi eksisting, pemodelan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur 3 dimensi dilakukan dengan program bantu Staad Pro V.8i.
2. Elemen balok dan kolom dimodelkan sebagai element *frame*.
3. Beban plat dihitung sebagai beban lantai yang bekerja pada balok pendukung.
4. Beban atap dilimpahkan sebagai beban titik pada *ring balk*.
5. Dinding batu bata dimodelkan sebagai beban merata pada balok.
6. Penurunan pada pondasi hasil pengukuran dimodelkan sebagai beban tumpuan (*support displacement load*)

### 3.7. Analisa reliabilitas

Analisa reliabilitas bertujuan untuk mendapatkan nilai indeks reliabilitas dan probabilitas kegagalan, analisa dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Kuat ultimit komponen struktur, analisa kuat ultimit pada komponen struktur dihitung berdasarkan jenis kegagalan yang dipertimbangkan akan terjadi pada struktur, yaitu :
  - a. Kegagalan pada kolom



Kuat ultimit komponen kolom dipertimbangkan terhadap kegagalan yang mungkin terjadi akibat gaya tekan dan momen serta gaya geser.

b. Kegagalan pada balok

Kuat ultimit komponen balok dipertimbangkan terhadap kegagalan yang mungkin terjadi akibat gaya lentur dan gaya geser.

2. Data efek beban,

Data didapatkan dari hasil analisa struktur menggunakan software bantu Staad Pro V.8i dengan data beban yang digunakan berupa gaya aksial, geser, dan momen.

3. Faktor bias dan koefesien variasi

Faktor bias ( $\lambda$ ) merupakan perbandingan nilai nominal dengan nilai rerata variabel. Faktor bias menunjukkan jarak antara nilai pengukuran terhadap nilai statistik variabel dari data. Sedangkan koefesien variasi ( $V$ ) merupakan perbandingan nilai simpangan baku dengan nilai rerata variabel. Koefesien variasi menunjukkan seberapa besar homogenitas data yang dihitung secara statistik.

Besaran faktor bias dan koefesien variasi dari variabel tahanan dipengaruhi oleh nilai faktor bias dari masing-masing faktor yang mempengaruhi seperti: faktor material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional.

4. Analisa Indeks reliabilitas,

Analisa dilakukan dengan cara analitis dan simulasi Monte Carlo. Analisa dilakukan dengan menghitung hubungan tahanan dan beban pada kondisi batas ultimit (*limit state function*) atau fungsi kinerja. Analisa secara analitis dihitung menggunakan 2.6 dengan probabilitas kegagalan dihitung menurut persamaan 2.4. sedangkan simulasi *Monte Carlo* dilakukan dengan pengambilan sampel acak yang sesuai dengan distribusi dari model tahanan dan beban. Prosedur simulasi *Monte Carlo* adalah sebagai berikut :

a. Menentukan jenis distribusi,

Distribusi data dengan model fungsi kuat batas dimodelkan sebagai fungsi dengan jenis distribusi data sesuai dengan model tahanan dan beban.

b. Bangkitan sampel acak dari distribusi data,

Salahsatu metode bangkitan nilai acak dari sebuah variabel adalah metode transformasi kebalikan. Nilai variabel acak  $x_i$  didapatkan dari persamaan 2.27 .

Nilai bangkitan angka acak untuk variabel tahanan dan beban dilakukan dengan menggunakan software bantu *Oracle Crystal Ball*.

c. Simulasi fungsi kuat ultimit

Simulasi dilakukan dengan membangkitkan nilai acak antara 0 dan 1 untuk mendapatkan sampel di Microsoft Excel dengan Add In Oracle Crystal Ball. Nilai fungsi kebalikan dicari dengan fungsi NORMINV yang kemudian dihitung dengan persamaan 2.28 untuk sampel nilai tahanan dan beban.

Nilai kuat batas ultimit dihitung dengan persamaan 2.2. hasil simulasi berupa grafik distribusi frekuensi dari kurva kondisi ultimit dengan nilai rata-rata dan simpangan baku. Indeks reliabilitas dapat dihitung dengan persamaan 2.6.a.

d. Nilai indeks reliabilitas dan probabilitas kegagalan

Nilai probabilitas kegagalan ( $P_f$ ) dihitung berdasarkan persamaan 2.4. nilai indeks reliabilitas komponen kurang dari nol ( $\beta < 0$ ), menunjukkan bahwa beban yang bekerja memiliki nilai yang jauh lebih besar dari nilai kapasitasnya ( $\mu_R - \mu_S < 0$ ).

### 3.8. Perbaikan komponen struktur

Perbaikan komponen struktur pada bangunan gedung perpustakaan Universitas Wiralodra Indramayu dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai metode perkuatan. Metode perkuatan yang dilakukan bisa berupa perkuatan dengan bahan *polymer CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer)* dan perkuatan dengan pelapisan penampang menggunakan plat baja.

## 1. Perkuatan CFRP

Dalam merencanakan perkuatan dengan CFRP tahapan yang dilakukan berupa :

- a. Analisa struktur, analisa dilakukan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada komponen struktur berupa gaya aksial, geser, dan lentur.
- b. Analisa reliabilitas, probabilitas kegagalan dan indeks reliabilitas dari komponen struktur dibandingkan terhadap nilai indeks target yang mempertimbangkan fungsi dan masa layan struktur serta nilai ekonomis struktur gedung.
- c. Merencanakan perkuatan pada komponen-komponen struktur yang memiliki nilai indeks reliabilitas dibawah nilai indeks target.
- d. Hasil perencanaan perkuatan dievaluasi dengan cara menghitung kembali indeks reliabilitas komponen struktur baru yang kemudian dibandingkan dengan indeks reliabilitas target.
- e. Rekomendasi hasil analisis perkuatan dengan CFRP.

## 2. Perkuatan penampang komponen dengan pelapisan plat baja

Dalam merencanakan perkuatan dengan plat baja tahapan yang dilakukan berupa :

- a. Analisa struktur, analisa dilakukan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada komponen struktur berupa gaya aksial, geser, dan lentur.
- b. Analisa reliabilitas, probabilitas kegagalan dan indeks reliabilitas dari komponen struktur dibandingkan terhadap nilai indeks target yang mempertimbangkan fungsi dan masa layan struktur serta nilai ekonomis struktur gedung.
- c. Merencanakan perkuatan pada komponen-komponen struktur yang memiliki nilai indeks reliabilitas dibawah nilai indeks target.
- d. Hasil perencanaan perkuatan dievaluasi dengan cara menghitung kembali indeks reliabilitas komponen struktur baru yang kemudian dibandingkan dengan indeks reliabilitas target.
- e. Rekomendasi hasil analisis perkuatan dengan pelapisan penampang dengan plat baja (*steel plate*).

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Umum**

Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra Indramayu berada di jalan Ir.H.Juanda Km 3 Singaraja Kecamatan Indramayu Kabupaten Indramayu Propinsi Jawa Barat. Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra menggunakan konstruksi beton bertulang sebagai struktur utama dan memiliki 2 lantai. Data teknis Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra adalah sebagai berikut :

- |                             |                                              |
|-----------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Nama bangunan            | : Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra  |
| 2. Pemilik                  | : Yayasan Wiralodra                          |
| 3. Lokasi Bangunan          | : Jalan Ir.H.Juanda Km.3 Singaraja Indramayu |
| 4. Tahun Pembangunan        | : 2006                                       |
| 5. Luas Lantai Bangunan     | : 2.010 m <sup>2</sup>                       |
| 6. Tinggi Efektif Bangunan  | : 15,40 meter                                |
| 7. Lebar efektif bangunan   | : 10,00 meter                                |
| 8. Panjang efektif Bangunan | : 60,00 meter                                |
| 9. Rangka atap              | : Baja canai                                 |
| 10. Finishing Lantai        | : Keramik                                    |
| 11. Finishing Flafond       | : Eternit                                    |
| 12. Fungsi Bangunan         | : Gedung perpustakaan                        |

#### **4.1. Data lapangan**

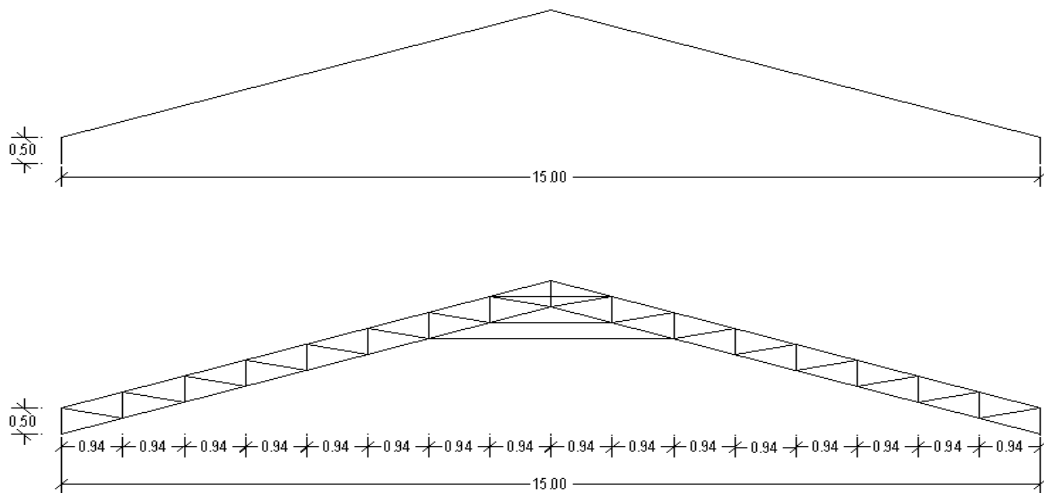
##### **4.1.1. Struktur rangka kuda — kuda**

Konstruksi atap pada Gedung perpustakaan pusat universitas wiralodra menggunakan konstruksi rafter baja dan rangka kuda-kuda kayu dengan penutup atap berupa genteng. Sedangkan bagian bawah kuda – kuda terdapat plafond yang juga memberikan kontribusi beban pada batang-batang konstruksi kuda – kuda.

Profil baja yang digunakan adalah tipe WF250, sedangkan kuda-kuda kayu menggunakan kayu meranti ukuran 6/12 cm.

Adapun data teknis atap adalah sebagai berikut:

- |                                                     |                            |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| a) Jarak antar kuda-kuda                            | = 3,00 m                   |
| b) Jarak antar gording kuda-kuda                    | = 1,5                      |
| c) Kemiringan atap                                  | = $18^\circ$               |
| d) Berat genteng+reng+kasau                         | = 50 kg/m <sup>2</sup>     |
| e) Berat plafond+rangka                             | = 18,000 kg/m <sup>2</sup> |
| f) Beban hidup per m <sup>2</sup> luas penutup atap | = 100 kg/m <sup>2</sup>    |
| g) Beban angin per m <sup>2</sup> luas penutup atap | = 40 kg/m <sup>2</sup>     |



Gambar 4.1. Kuda-kuda struktur gedung perpustakaan UNWIR

#### 4.1.1. Data komponen struktur

Struktur Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra menggunakan struktur beton bertulang sebagai struktur utama. Untuk mengetahui gaya dalam struktur maka dilakukan pemodelan struktur gedung dengan data-data berikut :

## 1. Properti komponen struktur

Properti elemen berupa dimensi balok, kolom, dan juga elevasi masing-masing lantai bangunan. Tabel dimensi komponen struktur yang digunakan sebagai masukan data pemodelan seperti ditunjukkan tabel 4.1 berikut.

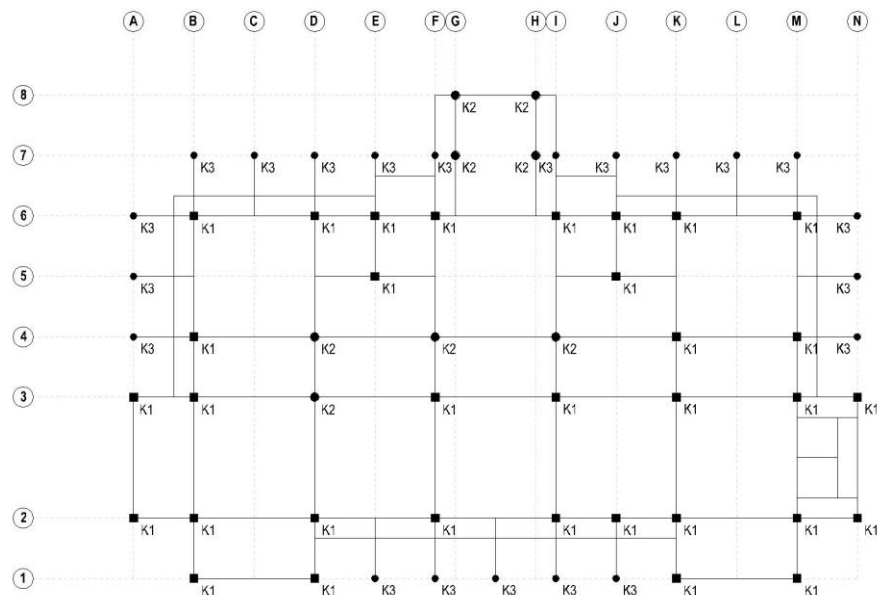
Tabel 4.1. Properti elemen struktur

No	Kolom	b (m)	h (m)	Diameter (m)	Keterangan
1	K1	0,40	0,40		Kolom
2	K2	-		0,45	Kolom
3	K3		-	0,35	Kolom
4	B1	0,15	0,20	-	Balok
5	B2	0,25	0,40	-	Balok
6	B3	0,30	0,60	-	Balok

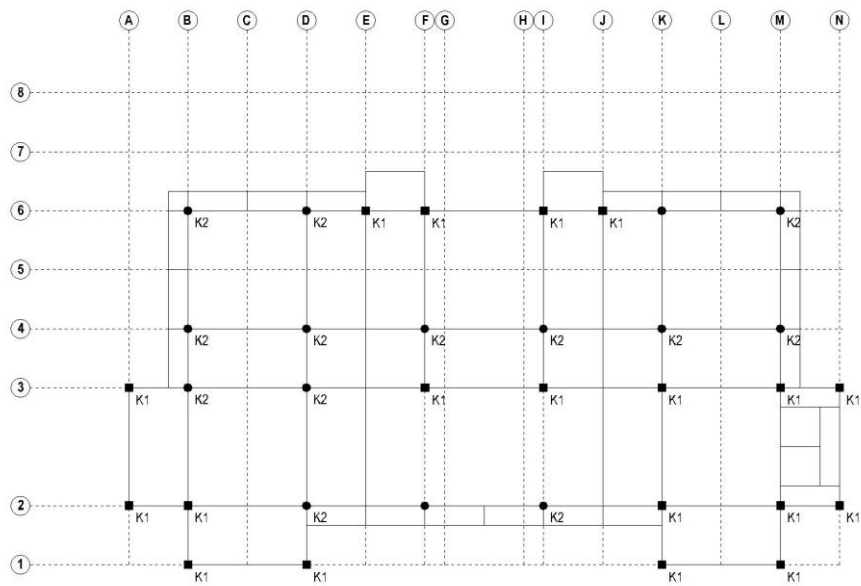
Sumber : hasil pengukuran

## 2. Denah struktur

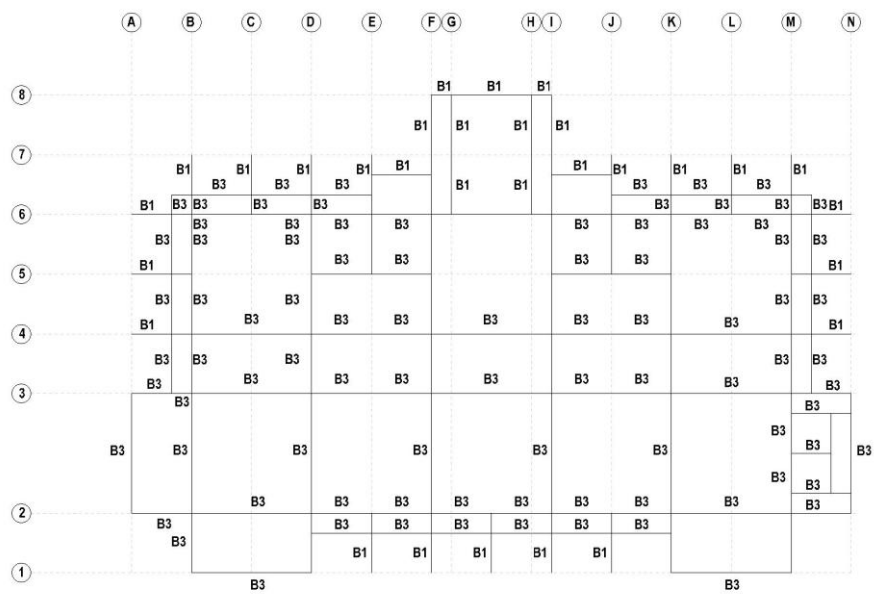
Denah struktur dari Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra dapat dilihat pada gambar 4.2 sampai 4.5 berikut.



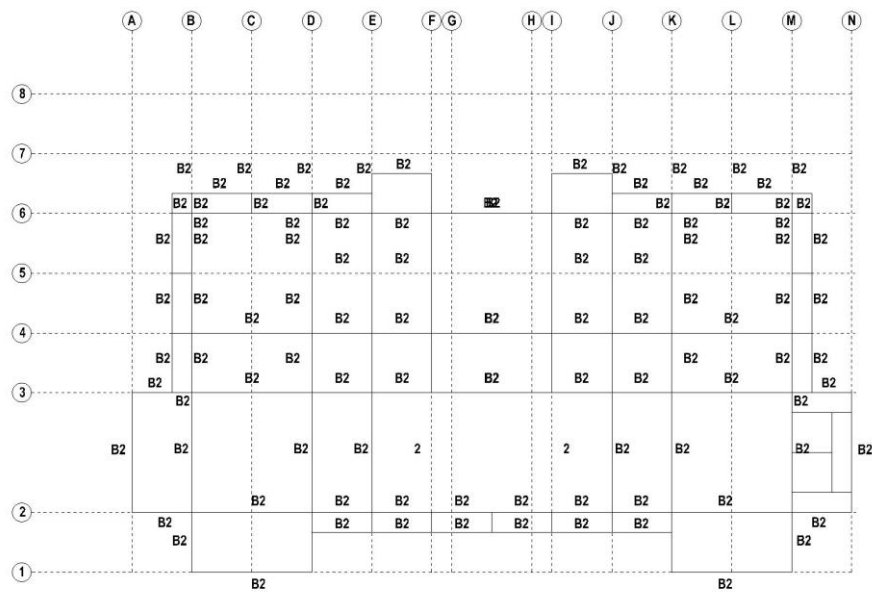
Gambar 4.2. Denah kolom lantai 1



Gambar 4.3. Denah kolom lantai 2



Gambar 4.4. Denah Balok Lantai 1



Gambar 4.5. Denah balok lantai 2

#### 4.1.2. Kuat tekan beton

Kuat tekan beton diukur dengan pengujian tak merusak (*non destructive test*), yaitu menggunakan alat uji *hammer*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat hammer dengan tipe N/NR, dengan batasan pembacaan untuk mutu beton 10 - 70 N/mm<sup>2</sup> (Mpa). Hasil pengukuran kuat tekan beton pada kolom K1, K2, dan K3 dengan *Hammer Test* dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2. Nilai kuat tekan beton kolom K3

ELEMEN	SUDUT	NILAI PANTUL PALU BETON ( R )					RATA-RATA	FAKTOR KOREKSI	KUAT TEKAN (fc)
KOLOM 1	0	11.77	11.95	9.79	12.20	11.08	11.0	0.98	10.73
		10.14	11.25	10.50	10.70	10.42			
KOLOM 2	0	11.98	10.66	10.78	10.77	11.05	11.2	0.98	10.95
		11.86	11.44	10.20	11.58	11.75			
KOLOM 3	0	20.40	19.64	18.67	21.97	19.21	20.0	0.98	19.51
		20.57	21.55	19.57	19.45	18.64			
KOLOM 4	0	20.43	19.00	21.16	19.50	21.71	20.1	0.98	19.61



Lanjutan tabel 4.2. Nilai kuat tekan beton kolom K3

ELEMEN		SUDUT	NILAI PANTUL PALU BETON ( R )					RATA-RATA	FAKTOR KOREKSI	KUAT TEKAN (fc)
			18.88	21.39	19.25	21.20	18.17			
KOLOM	5	0	20.38	20.78	19.17	20.93	20.08	20	0.98	19.58
			19.62	21.00	20.58	19.26	18.55			
KOLOM	6	0	21.06	18.83	19.66	20.51	20.57	20.6	0.98	20.02
			21.84	19.63	20.03	21.78	21.03			
KOLOM	7	0	19.77	19.82	19.99	18.83	21.65	19.6	0.98	19.19
			19.07	19.96	18.60	18.38	20.38			
								μ	17.08	
								σ	4.27	

Sumber : hasil pengujian

Nilai kuat tekan rata-rata pada kolom K3 dari seluruh member kolom dihitung dan didapatkan kuat tekan rata-rata sebesar 17.08 Mpa dan simpangan baku sebesar 4,27.

Sedangkan untuk kolom-kolom lain nilai kuat tekan beton rata-rata dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3. Nilai kuat tekan seluruh kolom

Komponen	Lantai	Kuat tekan ( $f_c$ )	
		Rata-rata ( $\mu$ )	Simpangan baku ( $\sigma$ )
		(Mpa)	(Mpa)
Kolom K1	1	23.52	1.40
Kolom K1	2	23.62	1.44
Kolom K2	1	23.03	1.65
Kolom K2	2	22.90	1.34
Kolom K3	1	17.08	4.27

Sumber : hasil pengujian

Sedangkan nilai kuat tekan rata-rata beton untuk balok di lantai 1 dan 2 dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4. Nilai kuat tekan balok beton

Komponen	Lantai	Rata-rata ( $\mu$ )	Simpangan baku ( $\sigma$ )	Kuat tekan ( $f'_c$ )
		(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
Balok B1	1	18.80	0.46	18.05
Balok B2	2	22.73	0.56	19.93
Balok B3	1	23.10	0.37	22.00

*Sumber : hasil pengujian*

#### 4.1.3. Kuat leleh tulangan baja

Nilai kuat leleh dan tarik tulangan baja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5. Nilai kuat leleh dan tarik tulangan baja


No. Test	Identifikasi Benda Uji	Diameter Aktual (mm)	Diameter Nominal (mm)	Luas Penampang Nominal (mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Luluh Nominal (N/mm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik Nominal (N/mm <sup>2</sup> )
1	Bj Ulir	13.99	16	201.06	320	470
2	Bj Ulir	18.17	19	283.53	320	540

*Sumber : hasil pengujian*

#### 4.2. Data kerusakan

Setelah delapan tahun pengoperasian Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Wiralodra, terjadi beberapa kerusakan yang berupa : rusak, retak, pengelupasan, kebocoran, jamur dan lumut serta noda di beberapa bagian gedung. Macam-macam kerusakan yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Kerusakan pada gedung Perpustakaan UNWIR

No	Foto	Kerusakan	Keterangan
		Rusak	Pintu utama macet/rusak dan tidak bisa dioperasikan
		Retak	Kaca pintu akses retak
		Retak	Rabat beton retak
		Rusak	Pengelupasan spesi pada dinding bagian dalam

Lanjutan Tabel 4.6. Kerusakan pada gedung Perpustakaan UNWIR

		Rusak	Pengelupasan spesi kolom
		Rusak	Pengelupasan spesi pada balok
		rusak	Pengelupasan pada cat listplank
		Kebocoran	Kebocoran pada lantai atas area kamar mandi dan terjadi keruntuhan pada plafond

Sumber : hasil pengukuran

### 4.3. Bobot kerusakan

Bobot masing-masing kerusakan yang terjadi pada gedung dapat dihitung seperti berikut:

Tabel 4.7. Bobot kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR

No	Komponen	Jenis kerusakan	Kuantitas kerusakan	Keterangan
1	K1L1	Pengelupasan cat	0.020 m2	Member 58
		Pengelupasan cat	0.017 m2	Member 64
		Pengelupasan cat	0.015 m2	Member 65
2	K2L1	Pengelupasan spesi	0.015 m2	Member 27
		Pengelupasan cat	0.02 m2	Member 27
3	K3	Pengelupasan spesi	0.033 m2	Member 43
		Pengelupasan spesi	0.057 m2	Member 61
		Pengelupasan spesi	0.120 m2	Member 62
		Pengelupasan cat	0.270 m2	Member 43
		Pengelupasan cat	0.280 m2	Member 61
		Pengelupasan cat	0.130 m2	Member 62
4	B1	Pengelupasan spesi	0.252 m2	Member 468
		Pengelupasan spesi	0.171 m2	Member 469
		Pengelupasan spesi	0.228 m2	Member 475
		Pengelupasan spesi	0.205 m2	Member 482
5	Dinding Dalam	Pengelupasan spesi	3.635 m2	
		Lembab dan Berjamur	2.03 m2	
6	Dinding Luar	Pengelupasan spesi	5.204 m2	
		Pengapuran	0.285 m2	
		Lembab dan Berjamur	0.434 m2	
		Lumutan	0.589 m2	
7	Keramik	Terkelupas	2.4 bh	
		Tergores pintu	1.76 bh	
		Pecah	0.16 bh	
8	Plafond	Berjamur	2.88 bh	
		Berlubang	8.64 bh	
		Rusak pada sambungan	8.64 bh	
		List plafond terlepas	0.8 bh	

Lanjutan Tabel 4.7. Bobot kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR

9	Jendela	Rusak / tidak berfungsi	1 bh	
10	Pintu Geser kaca	Kaca pintu pecah	2 bh	
11	Pintu Dorong 2 kaca	Kunci slot pintu rusak	2 bh	
12	Pintu PVC	Kunci tanam rusak / tidak berfungsi	7 bh	
13	Stop kontak	Rusak / tidak berfungsi	4 bh	
14	Lisplank Kayu 3/30	pengelupasan cat	18.6 m'	
15	Lisplank beton	pengelupasan cat	21.344 m'	
		Lumutan	16.726 m'	
16	Rabat beton	Rusak / pecah	9 m2	

*Sumber : hasil analisis*

Volume kerusakan dihitung menurut kerusakan pada komponen terhadap kuantitas total dari komponen. Perhitungan volume kerusakan dilakukan seperti berikut.

Jenis Kerusakan : pengelupasan cat K1L1

member 58, Luas Kerusakan : 0.02 m<sup>2</sup>

member 64, Luas Kerusakan : 0.017 m<sup>2</sup>

member 65, Luas Kerusakan : 0.015 m<sup>2</sup>

Kerusakan lapisan cat terjadi pada 3 member kolom K1L1, sehingga :

Kuantitas kerusakan (A) : 3 bh

Kuantitas total (B) : 29 bh

Volume kerusakan :  $\frac{A}{B} \times 100\%$

Volume kerusakan :  $\frac{3}{29} \times 100\%$

: 10.34%

Volume kerusakan yang terjadi pada seluruh gedung dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8. Volume kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR

No	Komponen	jenis kerusakan	Kuantitas kerusakan	Kuantitas total komponen	Volume kerusakan total	Keterangan
1	K1L1	pengelupasan cat	3 bh	29 bh	10.34%	
2	K2L1	pengelupasan spesi	1 bh	4 bh	25%	
		pengelupasan cat	1 bh	4 bh	25%	
3	K3	pengelupasan cat	3 bh	21 bh	14%	
		pengelupasan spesi	3 bh	21 bh	14%	
4	B1	pengelupasan spesi	4	21	19%	
5	Dinding Dalam	pengelupasan cat				
		1. lantai 1	27.9 m2	809.9 m2	3%	
		2. lantai 2	18.6 m2	1214.86 m2	2%	
		Lembab dan Berjamur				
		1. lantai 1	27.9 m2	809.9 m2	3%	
		2. lantai 2	18.6 m2	1214.86 m2	2%	
6	Dinding Luar	pengelupasan cat				
		1. lantai 1	27.9 m2	809.9 m2	3%	
		2. lantai 2	18.6 m2	1214.86 m2	2%	
		Lembab dan Berjamur				
		1. lantai 1	27.9 m2	809.9 m2	3%	
		2. lantai 2	18.6 m2	1214.86 m2	2%	
		Pengapuran	27.9 m2	809.9 m2	3%	
		Lumutan	27.9 m2	809.9 m2	3%	
7	Keramik	Lantai 1				
		Terkelupas	2.4	6208.00 Bh	0.04%	
		Tergores pintu	1.76		0.03%	
		Pecah	0.16		0.00%	
8	Plafond KM					
		Lantai 1				
		1. Berjamur	2.88 bh	9 bh	32.00%	
		2. Berlubang	2 bh	9 bh	22.22%	
		3. Rusak pada sambungan	8.64 bh	16 bh	54.00%	
		4. List plafond terlepas	1 bh	16 bh	6.25%	
9	Jendela	Rusak / tidak berfungsi	1 bh	71 bh	1.41%	
10	Pintu Geser kaca	Kaca pintu pecah	2 bh	3 bh	66.67%	
11	Pintu Dorong 2 kaca	Kunci slot pintu rusak	2 bh	15 bh	13.33%	
12	Pintu PVC	Kunci tanam rusak / tidak berfungsi	8 bh	8 bh	100.00%	

Lanjutan Tabel 4.8. Volume kerusakan pada struktur gedung Perpustakaan UNWIR

No	Komponen	jenis kerusakan	Kuantitas kerusakan	Kuantitas total komponen	Volume kerusakan total	Keterangan
13	Stop kontak	Rusak / tidak berfungsi	4 bh	61 bh	6.56%	
14	Lisplank Kayu 3/30	pengelupasan cat	18.6 m'	100.36 m'	18.53%	
15	Lisplank beton	pengelupasan cat	21.344 m'	119.44 m'	17.87%	
		Lumutan	16.726	119.44 m'	14.00%	
16	Rabat beton	Rusak / pecah	9 m2	72 m2	12.50%	

*Sumber : hasil analisis*

#### 4.4. Pembebanan

Pembebanan yang digunakan terdiri atas beberapa beban yang terjadi pada struktur, yaitu :

##### a. Beban mati

Beban mati tersusun dari berat bahan bangunan pada komponen gedung. Beban mati yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut :

1. Beton Bertulang = 2400 kg/m<sup>3</sup>
2. Dinding Pasangan Bata = 250 kg/m<sup>2</sup>
3. Langit-langit + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>
4. Lantai keramik = 24 kg/m<sup>2</sup>
5. Spesi per cm tebal = 21 kg/m<sup>2</sup>

##### b. Beban penurunan

Penurunan yang terjadi pada tanah dasar diidealisasikan sebagai beban tambahan pada struktur dengan menganggap struktur bangunan tetap tanpa terjadi



penurunan. Penurunan yang terjadi pada joint kolom dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut.

Tabel. 4.9. Penurunan joint kolom eksterior dan interior

Joint	Penurunan (mm)	Joint	Penurunan (mm)	Joint	Penurunan (mm)
1	-0.236	25	0.050	50	-0.161
2	-0.1	26	-0.19	51	-0.667
3	-0.11	27	-0.459	52	-1.007
4	-0.717	28	-0.794	53	-1.183
5	-1.052	29	-0.989	54	-1.517
6	-0.105	30	-1.309	55	-1.656
7	-0.282	31	-0.104	56	-0.198
8	-0.61	32	-0.104	57	-0.160
9	-0.774	33	-0.104	58	-0.756
10	-1.112	34	-0.104	59	-1.099
11	-1.267	35	-0.104	60	-1.269
12	-0.120	36	-0.105	61	-1.606
13	-0.115	37	-0.105	62	-1.753
14	-0.376	38	-0.274	63	-0.11
15	-0.783	39	-0.556	64	-0.105
16	-1.001	40	-0.886	65	-0.114
17	-1.221	41	-1.086	66	-1.301
18	-1.364	42	-1.405	67	-1.636
19	-0.100	43	-0.11		
20	-0.119	44	-0.210		
21	-0.41	45	-0.286		
22	-0.623	46	-0.602		
24	-0.1	49	-0.13		

*Sumber : hasil pengukuran*

c. Beban hidup

Beban hidup diperhitungkan berdasarkan perhitungan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Beban hidup yang bekerja pada struktur adalah :

1. Lantai Perpustakaan = 400 kg/m<sup>2</sup>
2. Lantai kantor = 250 kg/m<sup>2</sup>
3. Tangga dan Bordes = 250 kg/m<sup>2</sup>

4. Dak = 100 kg/m<sup>2</sup>

5. Beban Pekerja = 100 kg

d. Distribusi beban

Besaran beban yang bekerja pada struktur gedung dapat dilihat pada distribusi beban seperti pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10. Jenis dan besar beban yang bekerja pada gedung

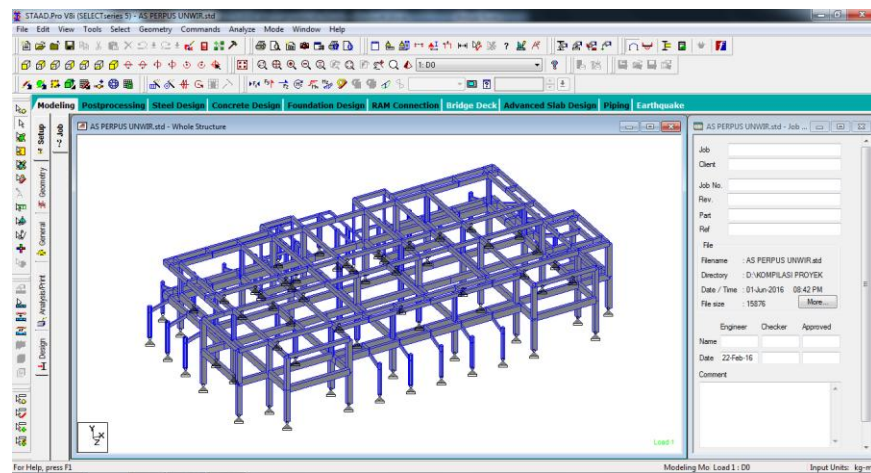
No	KOMPONEN	TYPE	ELEMEN	PEMBEBANAN (kg,m)							KETERANGAN
				Panjang	Lebar	Tinggi	BJ	Beban	Satuan	Arah	
1	Beban penurunan	DL	Joint	-	-	-	-	Input software	cm	-y	
1	Pasangan 1/2 Bata	DL	Frame	1,000	0,150	3.100	250	875,00	kg/m'	-y	
2	Keramik	DL	Mesh	-	-	1,000	24	24,00	kg/m <sup>2</sup>	-y	
3	Spesi	DL	Mesh	-	-	0.020	21	42,00	kg/m <sup>2</sup>	-y	
4	Plafon	DL	Mesh	1,000	1,000	-	11	11,00	kg/m <sup>2</sup>	-y	
5	Lantai Gedung Perpustakaan	LL	Mesh	1,000	1,000	1,000	400	1200,00	kg/m <sup>2</sup>	-y	
6	Tangga	LL	Frame	1,000	2,00	1,000	250	250,00	kg/m <sup>2</sup>	-y	
7	Beban Akibat Kuda-kuda rafter	DL	Joint	-	-	-	-	2758,400	kg	-y	tumpuan dalam
		DL	Joint	-	-	-	-	2562,560	kg	±z	tumpuan dalam
		DL	Joint	-	-	-	-	1779,200	kg	-z	tumpuan luar
		DL	Joint	-	-	-	-	2453,468	kg	±y	tumpuan luar
8	Beban Akibat Kuda-kuda	DL	Joint	-	-	-	-	2562,560	kg	-y	tumpuan dalam
		DL	Joint	-	-	-	-	4018,430	kg	±z	tumpuan dalam

Sumber : hasil analisa

#### 4.5. Analisa struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan metode elemen hingga (*finite element method*) untuk menyelesaikan persamaan-persamaan statika struktur bangunan gedung. Penyelesaian tersebut dilakukan dengan program bantu Staad Pro v8.i.

Hasil analisa struktur (*output*) yang diharapkan dari proses analisa struktur adalah berupa gaya-gaya dalam (gaya aksial, gaya lintang, dan momen), dan reaksi tumpuan dari *column base*. Hasil analisa struktur dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4.6. Pemodelan Struktur Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra

Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan Staad pro v.8i, didapatkan nilai gaya dalam maksimum pada kondisi eksisting seperti pada tabel 4.11.

Simpangan lantai (*storey drift*) didapatkan dari hasil analisis, sedangkan simpangan antar lantai (*interstorey drift*) dihitung untuk mengetahui kondisi elastisitas gedung. *Interstorey drift* dengan nilai kurang dari atau sama dengan 30 mm menunjukkan struktur dalam kondisi elastis, sebaliknya ketika nilai *Interstorey drift* lebih dari 30 mm maka struktur dalam kondisi inelastis.

Tabel 4.11. Gaya dalam maksimum kondisi eksisting

Gaya batang	Member	L/C	Node	Fx kN	Fy kN	My kNm	Mz kNm
Max Fx	58	3 D	60	305.108	3.648	0.000	0
Min Fx	194	3 D	179	-23.854	1.676	5.037	-21.154
Max Fy	154	3 D	125	-2.977	106.817	-0.578	96.603
Min Fy	346	3 D	126	-3.769	-106.469	0.540	97.028
Max My	277	3 D	132	30.754	4.001	34.065	7.153
Min My	47	3 D	309	45.333	-0.065	-38.826	0.164
Max Mz	346	3 D	126	-3.769	-106.469	0.540	97.028
Min Mz	343	3 D	238	-3.472	-8.174	0.175	-63.171
Max Fx	17	4 L	17	127.522	1.150	0.000	0
Min Fx	129	4 L	82	-7.232	4.536	0.020	8.836
Max Fy	138	4 L	95	2.137	35.450	0.063	39.741
Min Fy	130	4 L	84	-3.102	-36.256	-0.019	41.888
Max My	16	4 L	83	110.729	0.642	12.846	-1.991
Min My	29	4 L	96	114.574	-0.189	-11.565	0.585
Max Mz	130	4 L	84	-3.102	-36.256	-0.019	41.888
Min Mz	89	4 L	293	-5.873	0.436	-0.009	-21.161

Sumber: hasil analisis

Sedangkan *displacement* maksimum dari hasil analisis struktur dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12. Nilai *Displacement* maksimum kondisi eksisting

Displacement	Node	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Resultant	Rotational		
			X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
Max X	315	3 D	2.85	-1.18	1.32	3.36	0.00	0.00	0.00
Min X	297	3 D	-1.31	-1.13	1.09	2.04	0.00	0.00	0.00
Max Y	25	3 D	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
Min Y	288	3 D	0.76	-28.16	2.86	28.32	0.00	0.00	0.00
Max Z	309	3 D	0.45	-1.36	4.01	4.26	0.00	0.00	0.00
Min Z	180	3 D	0.52	-13.04	-0.46	13.05	0.00	0.00	0.00
Max rX	49	3 D	0.00	-1.30	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00
Min rX	180	3 D	0.52	-13.04	-0.46	13.05	0.00	0.00	0.00
Max rY	57	3 D	0.00	-1.60	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00
Min rY	50	3 D	0.00	-1.61	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00
Max rZ	287	3 D	0.72	-21.87	3.23	22.12	0.00	0.00	0.00
Min rZ	104	3 D	0.23	-2.96	0.43	3.00	0.00	0.00	0.00
Max Rst	288	3 D	0.76	-28.16	2.86	28.32	0.00	0.00	0.00
Max X	73	4 L	0.23	0.00	0.05	0.24	0.00	0.00	0.00
Min X	296	4 L	-0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
Max Y	170	4 L	-0.04	0.34	0.03	0.34	0.00	0.00	0.00
Min Y	288	4 L	-0.04	-7.89	-0.07	7.89	0.00	0.00	0.00
Max Z	68	4 L	-0.02	0.00	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00
Min Z	211	4 L	0.00	-0.12	-0.24	0.27	0.00	0.00	0.00
Max rX	291	4 L	0.01	-7.75	-0.06	7.75	0.00	0.00	0.00
Min rX	288	4 L	-0.04	-7.89	-0.07	7.89	0.00	0.00	0.00
Max rY	1	4 L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min rY	6	4 L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max rZ	287	4 L	-0.05	-5.07	0.08	5.07	0.00	0.00	0.00
Min rZ	104	4 L	-0.03	-0.04	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00
Max Rst	288	4 L	-0.04	-7.89	-0.07	7.89	0.00	0.00	0.00

Sumber: hasil analisis

Nilai simpangan antar lantai (*storey drift*) dan simpangan antar lantai (*interstorey drift*) dari struktur gedung perpustakaan dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel. 4.13. Nilai simpangan antar lantai (*storey drift*) struktur

Story	Height	D Drift(mm)		L Drift(mm)		D Interstory Drift (mm)		L Interstory Drift (mm)		Keterangan
	(Meter)	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\Delta < 30 \text{ mm}$
2	2.5	0.363	1.678	-0.025	0.012	0.363	1.678	-0.025	0.012	$\Delta < 30 \text{ mm}$
3	3.1	0.238	1.237	-0.027	0.020	-0.121	-0.546	0.002	0	$\Delta < 30 \text{ mm}$
4	6.2	0.681	3.230	-0.027	0.021	0.443	1.993	0	0.001	$\Delta < 30 \text{ mm}$

Sumber: hasil analisis

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai simpangan antar lantai (*interstorey drift,  $\Delta$* ) dari struktur kurang dari 30 mm, sehingga struktur gedung dalam kondisi eksisting dapat dinyatakan dalam kondisi elastis.

#### 4.6. Evaluasi kekuatan komponen struktur

Kapasitas komponen struktur dihitung dengan mencari nilai faktor reduksi tahanan pada nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) terhadap kombinasi efek beban dari struktur eksisting.

Analisa dilakukan terhadap model dengan mempertimbangkan nilai parameter statistik tahanan berupa faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) dari beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tahanan komponen, yaitu: faktor material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional. Nilai faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) dari masing-masing faktor tahanan didapatkan dari data pengukuran pada variabel yang menyumbangkan kapasitas tahanan komponen struktur.

Efek beban yang bekerja pada komponen dipertimbangkan terhadap parameter statistik beban yang bekerja. Parameter statistik beban berupa nilai faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) dari beban mati dan beban hidup.

##### 4.6.1. Parameter Statistik Tahanan Komponen Struktur

Parameter statistik tahanan didapatkan dari parameter statistik variabel-variabel yang menyumbangkan kuat ultimit komponen struktur. Parameter statistik yang dihitung berupa faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) dari nilai

$F'_c$ ,  $f_y$ ,  $\emptyset$ , dan  $d'$ .

Nilai faktor bias kuat tekan beton ( $f'_c$ ) dan kuat leleh baja ( $f_y$ ) dari kolom K1 di lantai 1 dengan nilai nominal dan rerata dari  $f'_c$  sebesar 22,5 Mpa dan 23,5 Mpa serta nilai nominal dan rerata dari  $f_y$  sebesar 390 Mpa dan 320 Mpa, maka nilai faktor bias dari faktor material dapat dihitung sebagai berikut :

$$\lambda_{f'_c} = \frac{23,52}{22,5} = 1,05$$

$$\lambda_{f_y} = \frac{320}{390} = 0,82$$

Sedangkan nilai koefisien variasi dari kolom K1 di lantai 1 dengan nilai simpangan baku dan rerata dari  $f'_c$  sebesar 1,4 dan 23,52 Mpa. Sedangkan nilai simpangan baku dan rerata dari  $f_y$  sebesar 1,00 Mpa dan 320 Mpa, maka nilai faktor bias dari faktor material dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_{f'_c} = \frac{1,4}{23,52} = 0,06$$

$$V_{f_y} = \frac{1,00}{320} = 0,003$$

Nilai-nilai parameter statistik tahanan pada kolom lain dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut ini :

Tabel 4.14. Parameter statistik tahanan komponen kolom

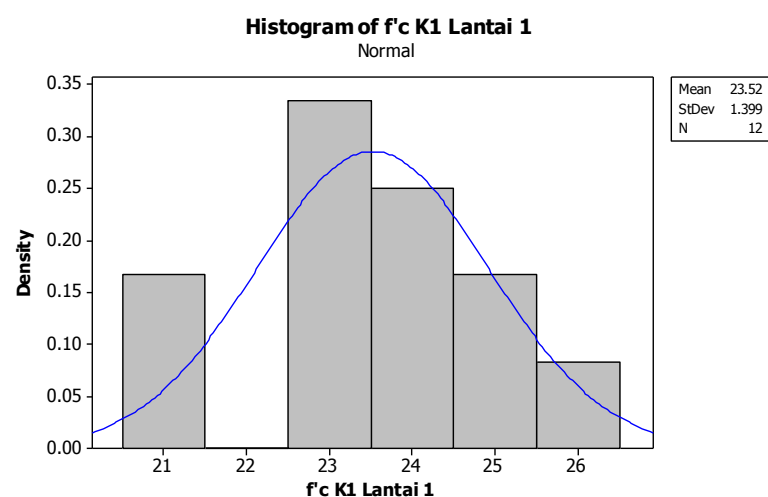
Uraian		Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V	Distribusi
<b>KOLOM K1 Lantai 1</b>							
$f'_c$	(Mpa)	22.5	23.52	1.40	1.05	0.06	Normal
$F_y$	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
$\emptyset$	(mm)	16	15.58	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	201.062	190.64	14.14	0.95	0.07	Normal
$d'$	(mm)	30	34.70	2.71	1.16	0.08	Normal
<b>KOLOM K1 Lantai 2</b>							
$f'_c$	(Mpa)	22.5	23.62	1.44	1.05	0.06	Normal
$F_y$	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
$\emptyset$	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
$d'$	(mm)	30	34.70	2.71	1.16	0.08	Normal

Lanjutan Tabel 4.14. Parameter statistik tahanan komponen kolom

Uraian		Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V	Distribusi
<b>KOLOM K2 Lantai 1</b>							
f'c	(Mpa)	22.5	23.03	1.65	1.02	0.07	Normal
Fy	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
Ø	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10	Normal
<b>KOLOM K2 Lantai 2</b>							
f'c	(Mpa)	22.5	22.90	1.34	1.02	0.06	Normal
fy	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
Ø	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10	Normal
<b>KOLOM K3</b>							
f'c	(Mpa)	22.5	17.08	4.27	0.76	0.25	Normal
fy	(Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00	Normal
Ø	(mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10	Normal

Sumber: hasil analisis

Distribusi data dari parameter kuat tekan beton (f'c) dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7. Distribusi kuat tekan beton (f'c) K1 lantai 1

Sedangkan parameter statistik tahanan pada balok dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15. Parameter statistik tahanan komponen balok

Uraian		N	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V	Distribusi
<b>BALOK B1 Lantai 1</b>								
f <sub>c</sub>	(Mpa)	7	22.5	18.80	0.46	0.84	0.02	Normal
f <sub>y</sub>	(Mpa)	1	295	374.29	1.00	1.27	0.20	Normal
Ø	(mm)	7	12	11.77	0.19	0.98	0.02	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	7	113.10	107.90	7.79	0.54	0.07	Normal
d'	(mm)	7	20	25.00	1.89	0.83	0.08	Normal
<b>BALOK B2 Lantai 2</b>								
f <sub>c</sub>	(Mpa)	15	22.5	22.73	0.35	1.01	0.02	Normal
f <sub>y</sub>	(Mpa)	1	390	320.00	1.00	0.82	0.003	Normal
Ø	(mm)	7	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	7	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	10	30	31.80	2.10	1.06	0.07	Normal
<b>BALOK B3 Lantai 1</b>								
f <sub>c</sub>	(Mpa)	16	22.5	23.10	0.37	1.03	0.02	Normal
f <sub>y</sub>	(Mpa)	1	390	320.00	1.00	0.82	0.003	Normal
Ø	(mm)	7	16	15.56	0.59	0.97	0.04	Normal
As	(mm <sup>2</sup> )	7	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07	Normal
d'	(mm)	10	30	33.90	1.66	1.13	0.05	Normal

Sumber: hasil analisis

Berdasarkan nilai-nilai dari tabel 4.11, maka nilai faktor bias dan koefisien variasi dari faktor material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional dapat dihitung sebagai berikut :

a. Faktor bias ( $\lambda$ )

Faktor bias komponen kolom beton didapatkan dengan mempertimbangkan nilai-nilai faktor bias dari masing-masing faktor, berupa : faktor material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional.

Untuk nilai faktor bias  $\lambda_M$  didapatkan dari perkalian nilai faktor bias kuat tekan beton (f<sub>c</sub>) dengan nilai faktor bias kuat leleh baja (f<sub>y</sub>). Nilai faktor bias  $\lambda_M$  dari kolom K1 di lantai 1 dengan nilai faktor bias f<sub>c</sub> dan f<sub>y</sub> masing-masing sebesar 1,05 dan 0,82, maka nilai faktor bias dari faktor material dapat dihitung sebagai berikut :

$$\lambda_M = 1,05 \times 0,82 = 0,86$$



Sedangkan nilai faktor bias untuk fabrikasi komponen struktur didapatkan dari nilai fabrikasi dari diameter tulangan ( $\phi$ ), luas tulangan ( $A_s$ ), dan jarak tepi beton ke tulangan ( $d'$ ).

$$\lambda_{\phi} = 0,97$$

$$\lambda_{A_s} = 0,95$$

$$\lambda_d = 1,16$$

$$\lambda F = 0,97 \times 0,95 \times 1,16 = 1,07$$

Sedangkan nilai faktor bias untuk faktor profesional komponen struktur menurut Ellingwood, et al (1980), dapat dilihat pada tabel 2.1.

Berdasarkan nilai faktor-faktor tersebut, maka nilai faktor bias tahanan untuk kolom K1 di lantai dapat dihitung sebagai berikut :

$$\lambda R = 0,86 \times 1,07 \times 1,00 = 0,92$$

#### b. Koefisien variasi (V)

Faktor koefisien variasi komponen kolom beton didapatkan dengan mempertimbangkan nilai-nilai koefisien variasi dari masing-masing faktor, berupa : faktor material, faktor fabrikasi, dan faktor profesional.

Nilai koefisien variasi  $V_M$  dari kolom K1 di lantai 1 dengan nilai koefisien variasi  $f'_c$  dan  $f_y$  masing-masing sebesar 0,06 dan 0,003, maka nilai koefisien variasi dari faktor material dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_M = \sqrt{0,06^2 + 0,003^2} = 0,060$$

Sedangkan nilai koefisien variasi untuk fabrikasi, didapatkan dari nilai diameter tulangan ( $\phi$ ), luas tulangan ( $A_s$ ), dan jarak tepi beton ke tulangan ( $d'$ ).

$$V_F = \sqrt{0,04^2 + 0,07^2 + 0,08^2} = 0,11$$

Nilai koefisien variasi pada faktor profesional komponen struktur kolom sebesar 0,08, sehingga nilai koefisien variasi tahanan kolom K1 lantai 1 dapat dihitung sebagai berikut :

Untuk tahanan aksial kolom,  $V_R$  sebesar :

$$V_R = \sqrt{0,06^2 + 0,11^2 + 0,08^2} = 0,15$$

Untuk nilai faktor bias dan koefisien variasi pada komponen kolom di masing-masing lantai, dapat dilihat pada tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) komponen kolom

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	$VM$	$VF$	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda A_s \times \lambda \emptyset$		$\sqrt{(f'c^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + A_s^2 \emptyset^2)}$			
1	K1 lantai 1	0.86	1.07	1.00	0.06	0.11	0.08	<b>0.92</b>	<b>0.15</b>
2	K1 lantai 2	0.86	1.06	1.00	0.06	0.11	0.08	<b>0.92</b>	<b>0.15</b>
3	K2 lantai 1	0.84	0.96	1.00	0.07	0.13	0.08	<b>0.80</b>	<b>0.17</b>
4	K2 lantai 2	0.84	0.96	1.00	0.06	0.13	0.08	<b>0.80</b>	<b>0.17</b>
5	K3	0.62	0.96	1.00	0.25	0.13	0.08	<b>0.60</b>	<b>0.29</b>

Sumber : hasil analisis

Untuk nilai faktor bias dan koefisien variasi pada komponen balok berupa lentur dan geser dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18.

Tabel 4.17. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) komponen lentur balok

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	$VM$	$VF$	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda A_s \times \lambda \emptyset$		$\sqrt{(f'c^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + A_s^2 \emptyset^2)}$			
1	B1 lantai 1	1.06	0.44	1.02	0.20	0.11	0.06	<b>0.48</b>	<b>0.24</b>
2	B2 lantai 2	0.83	0.98	1.02	0.02	0.11	0.06	<b>0.82</b>	<b>0.12</b>
3	B3 lantai 1	0.84	1.04	1.02	0.02	0.10	0.06	<b>0.89</b>	<b>0.11</b>

Sumber : hasil analisis

Tabel 4.18. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) komponen geser balok

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	$VM$	$VF$	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda A_s \times \lambda \emptyset$		$\sqrt{(f'c^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + A_s^2 \emptyset^2)}$			
1	B1 lantai 1	1.06	0.44	1.08	0.20	0.11	0.10	<b>0.50</b>	<b>0.25</b>
2	B2 lantai 2	0.83	0.98	1.08	0.02	0.11	0.10	<b>0.87</b>	<b>0.15</b>
3	B3 lantai 1	0.84	1.04	1.08	0.02	0.10	0.10	<b>0.94</b>	<b>0.14</b>

Sumber : hasil analisis

#### 4.6.2. Parameter Statistik Efek Beban

Parameter statistik efek beban yang bekerja pada struktur didasarkan pada faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) dari beban mati dan beban hidup. Nilai faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) menurut Ellingwood, et al (1980) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.19. faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) beban

Beban	Faktor bias ( $\lambda$ )	Koefesien variasi (V)
D	1.05	0.10
L	1.00	0.18

Sumber : Ellingwood, et al (1980)

#### 4.6.3. Nilai target indeks reliabilitas

Nilai indeks reliabilitas digunakan untuk menentukan besaran faktor reduksi tahanan ( $\phi$ ) pada struktur dengan kondisi pembebanan eksisting. Nilai indeks reliabilitas pada struktur gedung dengan tingkat kepentingannya, menurut Nowak dan Kaszynska (2011), dapat dilihat pada tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20. Nilai indeks reliabilitas target

Tingkat kepentingan	Desain baru	Eksisting	Historis
Rendah	3.00 - 3.50	2.00 - 2.50	3.25 - 3.50
Sedang	3.50 - 4.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.50
Tinggi	3.75 - 4.50	2.75 - 3.50	3.75 - 4.75

Sumber : Nowaks and Kaszynska (2011)

Berdasarkan kondisi eksisting struktur dan dengan tingkat kepentingan sedang, maka nilai indeks reliabilitas digunakan nilai sebesar 2,50.

#### 4.7. Evaluasi kapasitas kolom eksisting

Kemampuan kolom dalam menerima kombinasi beban aksial, lentur, dan geser dapat diukur dengan memperhatikan nilai perbandingan antara kapasitas nominal terhadap beban yang bekerja ( $\phi R \leq \gamma \Sigma Q_i$ ).

Nilai rasio antara kapasitas dan beban lebih dari 1 menunjukkan bahwa kolom masih mampu menerima beban yang bekerja, sebaliknya jika nilai rasio kurang dari 1 maka kolom dianggap gagal dalam menerima beban. Nilai rasio yang diperhitungkan ( $\phi R$ ) merupakan perbandingan dari nilai kapasitas dengan faktor reduksi dan nilai kombinasi beban dengan faktor beban dari masing-masing beban yang bekerja ( $\gamma \Sigma Q_i$ ).

Nilai faktor reduksi kapasitas dihitung dengan mencari hubungan antara kapasitas komponen dengan pembebanan pada kondisi eksisting serta memperhitungkan nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ), sehingga dengan kombinasi pembebanan yang terjadi maka besarnya nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) dapat dicari ketika nilai indeks reliabilitas minimal telah ditentukan.

#### 4.7.1. Indeks reliabilitas ( $\beta$ ) kolom

##### 4.7.1.1. Kapasitas nominal kolom kondisi aksial dan lentur

Nilai kapasitas kolom nominal menghasilkan nilai berupa  $P_n$  dan  $M_n$ . Input parameter perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.21 berikut.

Tabel 4.21. Nilai input analisa kapasitas kolom

Kolom	$f'_c$ (Mpa)	$f_y$ (Mpa)	$\varnothing$ (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$d'$ (mm)
K1 L1	23.52	320.00	15.58	190.64	34.70
K1 L2	23.62	320.00	15.56	190.32	34.70
K2 L1	23.03	320.00	15.56	190.32	31.14
K2 L2	22.90	320.00	15.56	190.32	31.14
K3	17.08	320.00	15.56	190.32	31.14

*Sumber : hasil analisis*

Sedangkan nilai kapasitas member kolom K1 dengan dimensi 400x400 mm pada masing-masing titik kontrol pada kondisi tekan, tarik, lentur, dan berimbang dapat dilihat pada tabel 4.22 berikut:

Tabel 4.22. Nilai kapasitas kolom aksial dan lentur pada titik kontrol

Kolom	$P_{maks}$	$P_n$	$P_b$	$P < P_b$	$M_n$	$P_{tens}$	Keterangan
K1 L1	3915.1	3915.1	1601	724.8	0	-764.2	Aksial P
	0	0	240.11	209.44	125.49	0	Y-Moment
	0	0	240.11	209.44	125.49	0	Z-Moment
K1 L2	3928.5	3928.5	1634.5	747.3	0	-764.2	Aksial P
	0	0	243.46	213.91	127.36	0	Y-Moment
	0	0	243.46	213.91	127.36	0	Z-Moment
K2 L1	3830.8	3830.8	1690.8	538.5	0	-764.2	Aksial P
	0	0	222.43	189.19	128.97	0	Y-Moment
	0	0	222.43	189.19	128.97	0	Z-Moment
K2 L2	3813.5	3813.5	1682.1	534.3	0	-764.2	Aksial P

Lanjutan Tabel 4.22. Nilai kapasitas kolom aksial dan lentur pada titik kontrol

Kolom	Pmaks	Pn	Pb	P<Pb	Mn	Ptens	Keterangan
	0	0	221.6	188.57	128.87	0	Y-Moment
	0	0	221.6	188.57	128.87	0	Z-Moment
K3	2126.3	2126.3	789.9	83.2	0	-764.2	Aksial P
	0	0	106.03	93.45	87.22	0	Y-Moment
	0	0	106.03	93.45	87.22	0	Z-Moment

Sumber : hasil analisis

#### 4.7.1.2. Kapasitas nominal kolom kondisi aksial dan lentur

Nilai nominal geser seluruh kolom dapat dihitung dengan mempertimbangkan beban Nu maksimum seperti pada tabel 4.23 berikut.

Tabel 4.23. Nilai input parameter geser kolom

Kolom	Nu (kN)	Ag (mm <sup>2</sup> )	f'c (Mpa)	b (mm)	d (mm)
K1 L1	305.11	1600.00	23.52	400	365.30
K1 L2	293.42	1600.00	23.62	400	365.30
K2 L1	281.74	159043.13	23.03	360	410.65
K2 L2	282.50	159043.13	22.90	360	410.65
K3	51.00	96211.28	17.08	280	312.47

Sumber : hasil analisis

Kapasitas geser kolom K1 di lantai 1 dapat dihitung seperti berikut.

$$V_c = \left( 1 + \frac{305.11}{14 \cdot 1600} \right) \left( \frac{\sqrt{23.52}}{6} \right) 400 \cdot 365.30$$

$$V_c = 1.726,85 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai kapasitas geser ( $V_c$ ) dari masing-masing kolom pada kondisi beban Nu maksimum seperti pada tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.24. Nilai kapasitas geser kolom akibat beban mati

Kolom	Nu (kN)	Ag (mm <sup>2</sup> )	f'c (Mpa)	b (mm)	d (mm)	Vc (kN)
K1 L1	305.11	1600.00	23.52	400	365.30	1726.85
K1 L2	293.42	1600.00	23.62	400	365.30	1668.75
K2 L1	281.74	159043.13	23.03	360	410.65	133.20
K2 L2	282.50	159043.13	22.90	360	410.65	132.87
K3	51.00	96211.28	17.08	280	312.47	62.55

Sumber : hasil analisis

#### 4.7.2. Efek beban pada kolom

Efek beban yang bekerja pada kolom merupakan gaya dalam hasil analisa struktur. Gaya maksimal yang bekerja pada kolom akibat beban mati dapat dilihat pada tabel 4.25 berikut.

Tabel 4.25. Nilai gaya dalam kolom maksimal akibat beban mati

Beam	Node	Fx kN	Fy kN	My kNm	Mz kNm
K1L1	60	305.11	3.65	0.00	0.00
	125	293.42	3.65	20.02	11.31
K1L2	125	46.85	3.99	30.96	10.59
	225	35.16	3.99	13.28	1.78
K2L1	29	281.74	1.43	0.00	0.00
	95	270.13	1.43	30.04	4.42
K2L2	84	80.09	5.28	24.27	2.24
	204	68.47	5.28	23.28	14.11
K3	49	51.00	0.07	0.00	0.00
	309	45.33	0.07	38.83	0.16

*Sumber : hasil analisis*

Sedangkan Gaya maksimal yang bekerja pada kolom akibat beban hidup dapat dilihat pada tabel 4.26 berikut.

Tabel 4.26. Nilai gaya dalam kolom maksimal akibat beban hidup

Beam	Node	Fx kN	Fy kN	My kNm	Mz kNm
K1L1	17	127.522	1.15	0	0
	84	127.522	1.15	9.963	3.564
K1L2	95	15.149	5.264	8.885	4.767
	233	15.149	5.264	0.436	11.549
K2L1	29	122.498	0.151	0	0
	95	122.498	0.151	10.085	0.467
K2L2	84	19.902	0.37	12.473	2.116
	204	19.902	0.37	9.705	3.264
K3	12	2.413	0.002	0	0
	299	2.413	0.002	1.783	0.004

*Sumber : hasil analisis*

Berdasarkan gaya-gaya aksial akibat beban mati dan hidup maka tipe kegagalan yang mungkin terjadi pada masing-masing kolom dapat ditentukan

dengan cara membandingkan gaya aksial terhadap gaya aksial nominal pada kondisi berimbang ( $P_b$ ), dimana masing-masing nilai  $P_b$  pada masing-masing kolom yaitu sebesar 1601 Kn, 1634,5 Kn, 1690,8 Kn, 1682,1 Kn, dan 789,9 Kn.

#### 4.7.3. Indeks reliabilitas kolom

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dihitung dengan mencari nilai kapasitas nominal kolom dan beban yang bekerja. Parameter statistik tahanan dan parameter statistik efek beban digunakan untuk mencari nilai  $\beta$  yang sesuai. Nilai  $\beta$  yang dihitung akan dibandingkan dengan nilai target  $\beta$ , jika nilai  $\beta < \beta$  target maka komponen struktur dinyatakan gagal. Nilai  $\beta > \beta$  target maka komponen struktur dinyatakan aman. Adapun nilai target indeks reliabilitas  $\beta$  digunakan nilai sebesar 2,5.

##### 4.7.3.1. Indeks reliabilitas kondisi aksial dan lentur

Nilai tahanan pada kolom K1 di lantai 1 dapat dihitung berdasarkan kapasitas aksial dan momen pada kondisi tarik menentukan.

##### Parameter tahanan dan efek beban

$$R := \sqrt{724.8^2 + \left(\frac{209.44}{0.4}\right)^2}$$

$$D := \sqrt{305.11^2 + \left(\frac{0}{0.4}\right)^2}$$

$$L := \sqrt{62.404^2 + \left(\frac{0}{0.4}\right)^2}$$

$$R = 894.143 \quad \lambda_D := 1.05$$

$$D = 305.11 \quad \lambda_L := 1.0$$

$$L = 62.404 \quad V_D := 0.1$$

$$\lambda_R := 0.92 \quad V_L := 0.18$$

$$V_R := 0.15$$

### Nilai statistik tahanan dan efek beban

$$\mu_R := \lambda_R \cdot R = 822.612$$

$$\sigma_R := V_R \cdot \mu_R = 123.392$$

$$\mu_S := \lambda_D \cdot D + \lambda_L \cdot L = 382.77$$

$$V_S := \frac{\sqrt{(V_D \cdot D)^2 + (V_L \cdot L)^2}}{\mu_S}$$

$$V_S = 0.085$$

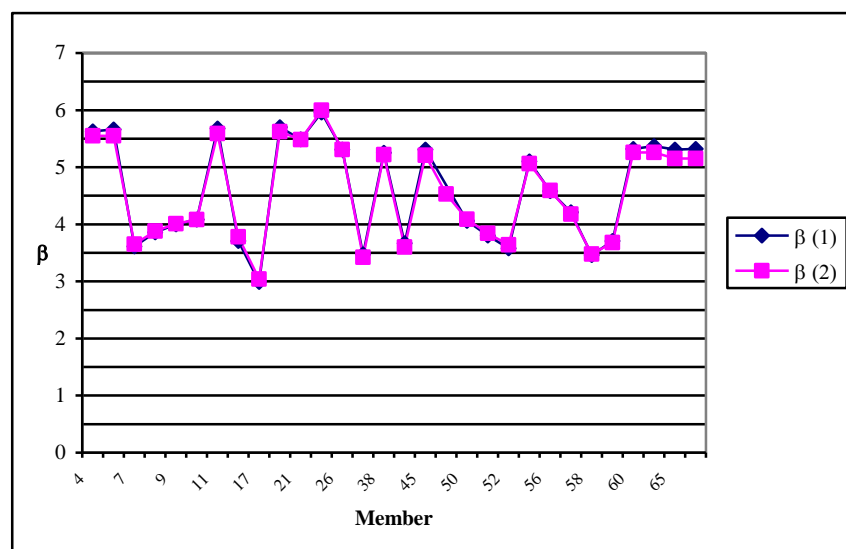
$$\sigma_S := V_S \cdot \mu_S = 32.513$$

### Indek reliabilitas

$$\beta := \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

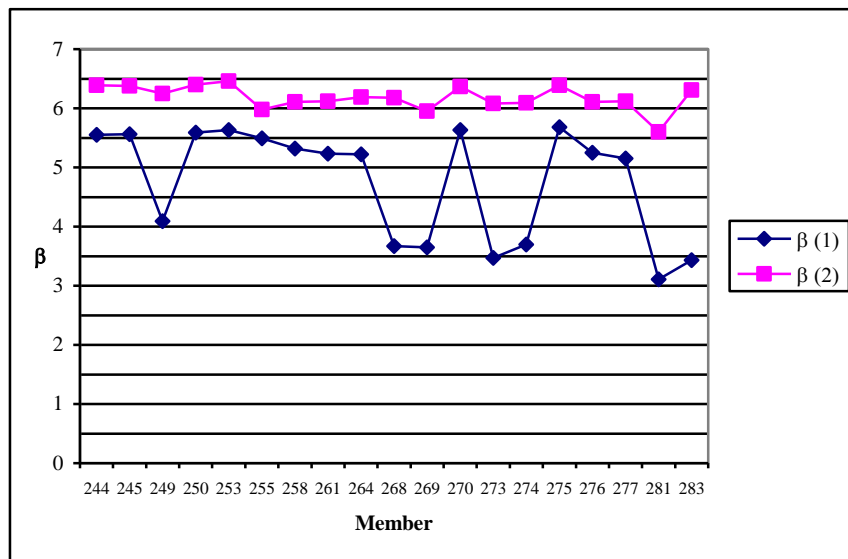
$$\beta = 3.404$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta$  sebesar 3.404, sehingga kolom dianggap masih bisa menerima beban yang bekerja. Nilai  $\beta$  untuk kolom lain dapat dilihat pada beberapa grafik berikut.



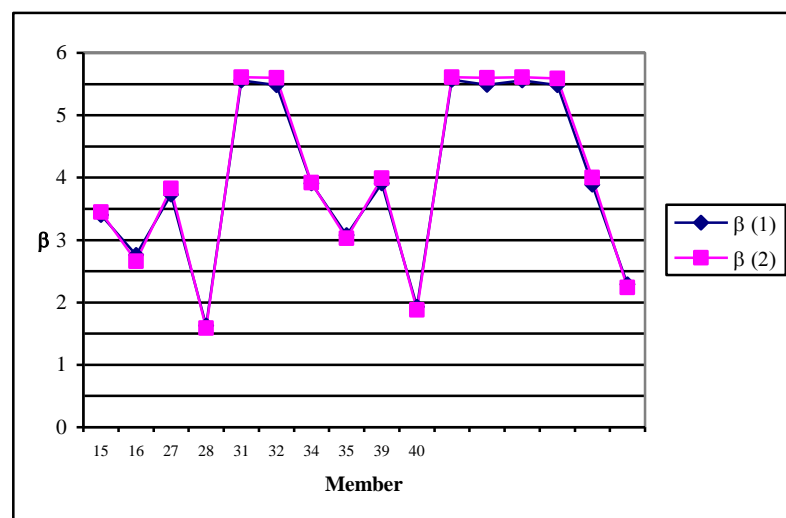
Gambar 4.8. Grafik indek reliabilitas kolom K1 lantai 1





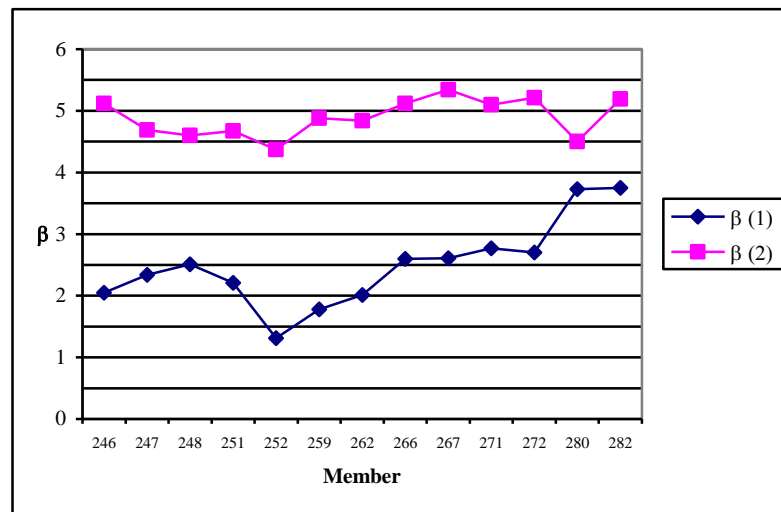
Gambar 4.9. Grafik indeks reliabilitas kolom K1 lantai 2

Nilai  $\beta$  Berdasarkan hasil perhitungan pada seluruh kolom K2 di lantai 1, dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut.



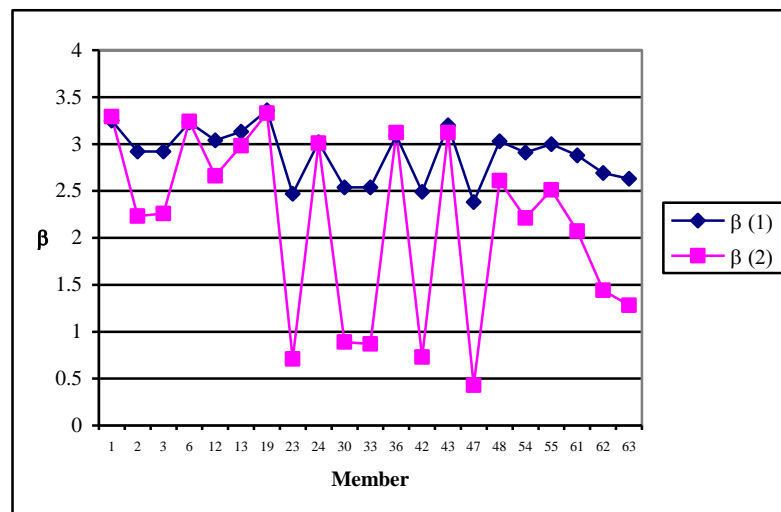
Gambar 4.10. Grafik indeks reliabilitas kolom K2 lantai 1

Nilai  $\beta$  pada seluruh kolom K2 di lantai 2 dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.11. Grafik indeks reliabilitas kolom K2 lantai 2

Nilai  $\beta$  berdasarkan hasil perhitungan pada kolom K3 pada seluruh kolom dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.12. Grafik indeks reliabilitas kolom K3

Hasil perhitungan dari seluruh kolom yang mempertimbangkan nilai target indeks reliabilitas ( $\beta_T = 2.5$ ), menghasilkan nilai  $\beta$  bervariasi. Nilai  $\beta$  kurang dari 2,5 menunjukkan bahwa nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) kurang dari nilai target  $\beta_T$  sehingga kolom dapat mengalami kegagalan. Kegagalan yang terjadi

harus ditindaklanjuti dengan memberikan perlakuan yang dapat meningkatkan nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) minimal kolom.

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada kolom member 4 sampai 14 dapat dilihat pada tabel 4.27 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member kolom dapat dilihat di lampiran.

Tabel 4.27. nilai  $\beta$  kolom K1 lantai 1

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
4	5.63	5.55	5.67	5.57	4.27E-08	7.11E-08
5	5.66	5.55	5.66	5.56	4.37E-08	7.80E-08
7	3.61	3.65	3.58	3.66	6.59E-04	4.93E-04
8	3.86	3.88	3.88	3.82	2.14E-04	2.67E-04
9	4.00	4.01	4.06	4.00	1.04E-04	1.33E-04
10	4.08	4.08	4.09	4.06	9.28E-05	1.03E-04
11	5.68	5.59	5.73	5.58	3.02E-08	6.78E-08
14	3.71	3.78	3.70	3.73	4.26E-04	3.82E-04

Sumber : hasil analisis

Kolom yang memiliki nilai indeks reliabilitas kurang dari nilai target indeks reliabilitas ( $\beta_T = 2,5$ ) terjadi pada kolom K2 lantai 1, K2 lantai 2, dan K3. Kolom yang memiliki nilai  $\beta$  kurang dari  $\beta$  target dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.28. Kolom dengan nilai  $\beta < \beta_T$

No	Kolom	Member
1	K2 lantai 1	28, 40
2	K2 lantai 2	246,247,251,252,259,262
3	K3	2,3,23,30,33,42,47,54,61,62,63

Sumber : hasil analisis

#### 4.7.3.2. Indeks reliabilitas pada kondisi geser

Nilai tahanan geser dapat dihitung berdasarkan kapasitas aksial dan momen pada kolom K1 lantai 1 seperti berikut.

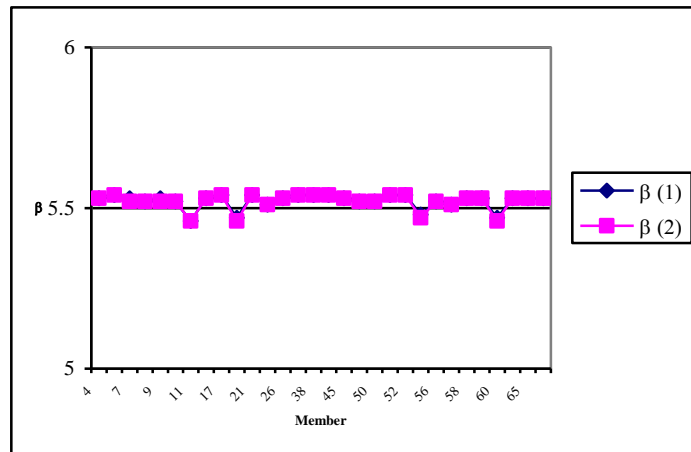
$$R_n = 3012,84 \text{ kN}$$

Nilai efek beban dihitung berdasarkan gaya dalam geser dari hasil analisis struktur menggunakan *Staad pro v.8i* seperti berikut.

$$D = 1,62 \text{ kN}$$

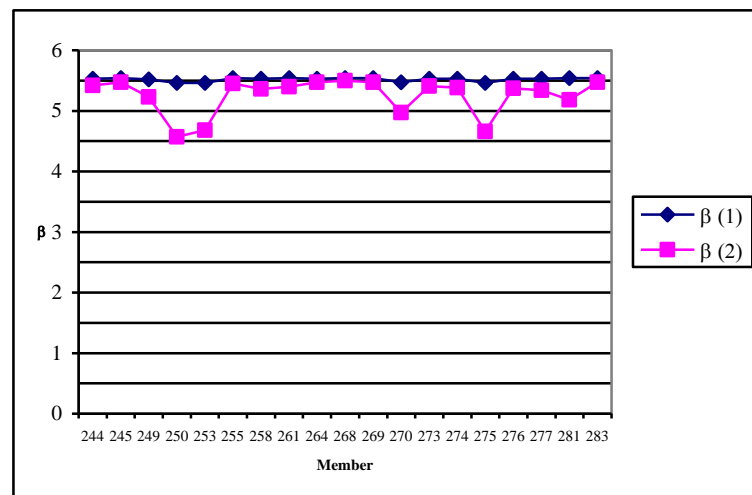
$$L = 0,48 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta$  sebesar 6,661. Sedangkan pada seluruh kolom K1 di lantai 2, didapatkan nilai rasio  $\beta$  yang dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut.



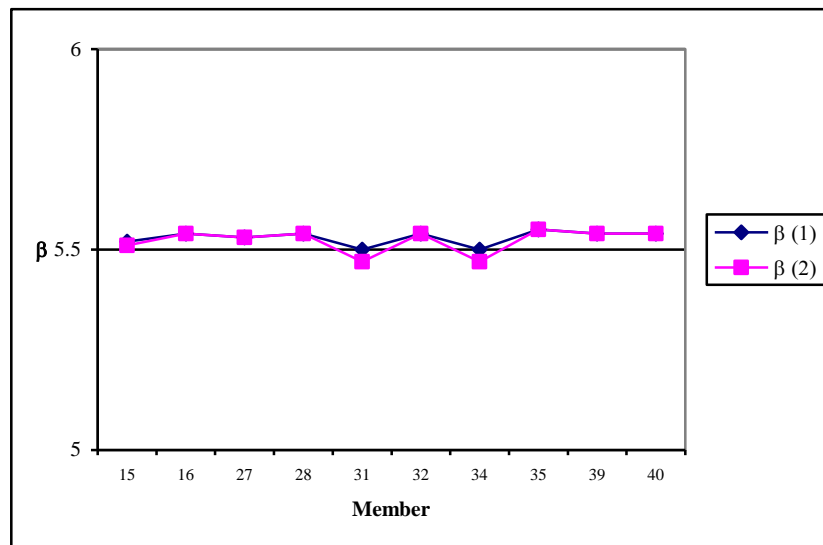
Gambar 4.13. Grafik indeks reliabilitas geser kolom K1 lantai 1

Nilai  $\beta$  Berdasarkan hasil perhitungan pada seluruh kolom K1 di lantai 2, dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut.



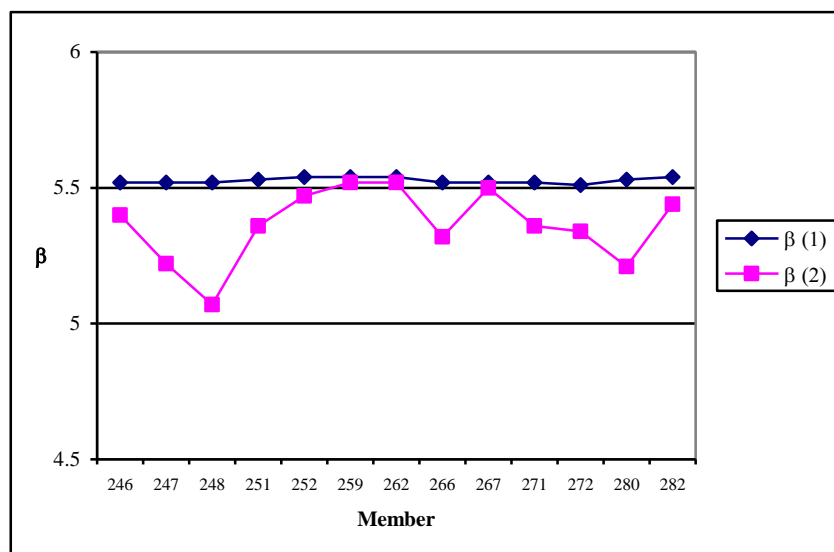
Gambar 4.14. Grafik indeks reliabilitas geser kolom K1 lantai 2

Nilai  $\beta$  berdasarkan hasil perhitungan pada seluruh kolom K2 di lantai 1, dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut.



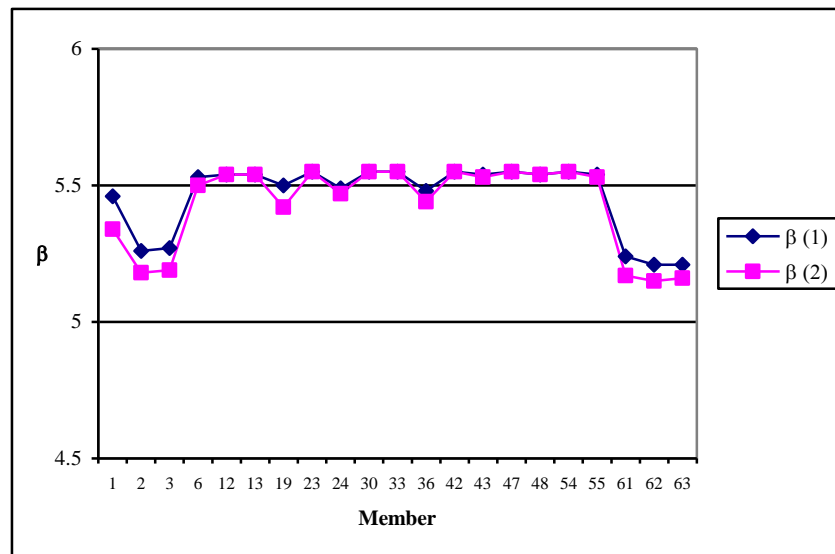
Gambar 4.15. Grafik indeks reliabilitas geser kolom K2 lantai 1

Nilai  $\beta$  berdasarkan hasil perhitungan pada seluruh kolom K2 di lantai 2, dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.16. Grafik indeks reliabilitas geser kolom K2 lantai 2

Nilai  $\beta$  berdasarkan hasil perhitungan pada seluruh kolom K3, dapat dilihat pada gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17. Grafik indeks reliabilitas geser kolom K3

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada geser kolom K2 lantai 1 member 15 dan 40 dapat dilihat pada tabel 4.29 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member kolom dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.29. Nilai  $\beta$  kolom K2 lantai 1 dengan CFRP

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
15	5.06	5.06	4.20	4.21	5.80E-05	5.71E-05
16	5.05	5.05	4.26	4.24	4.62E-05	4.91E-05
27	5.07	5.07	4.16	4.16	7.06E-05	6.93E-05
28	5.06	5.06	4.22	4.19	5.50E-05	6.09E-05
31	5.03	5.01	4.19	4.24	6.19E-05	5.00E-05
32	5.07	5.07	4.18	4.20	6.31E-05	5.80E-05
34	5.03	5.01	4.22	4.16	5.46E-05	7.07E-05
35	5.07	5.07	4.17	4.24	6.68E-05	4.97E-05
39	5.06	5.06	4.24	4.14	5.06E-05	7.42E-05
40	5.06	5.06	4.19	4.18	6.19E-05	6.48E-05

Sumber: hasil analisis

Hasil perhitungan dari seluruh kolom yang mempertimbangkan nilai target indeks reliabilitas ( $\beta_T = 2.5$ ), menghasilkan nilai  $\beta$  yang bervariasi. Nilai  $\beta$  lebih dari 2,5 menunjukkan bahwa nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) lebih dari nilai

target  $\beta_T$  sehingga kolom dianggap mampu menerima beban.

#### 4.8. Reliabilitas Komponen Balok Eksisting

##### 4.8.1. Kondisi Lentur

Kemampuan balok dalam menerima beban lentur dan geser dapat diukur dengan memperhatikan nilai perbandingan antara kapasitas nominal terhadap beban yang bekerja.

Nilai target indek reliabilitas untuk untuk komponen balok eksisting digunakan nilai  $\beta$  sebesar 2.50, sehingga berdasarkan nilai  $\beta$  minimal maka nilai  $\beta$  dapat dihitung dengan memperhatikan nilai parameter statistik tahanan dan efek beban.

##### 4.8.2. Kapasitas nominal lentur balok

Untuk menghitung nilai kapasitas balok B1, maka kapasitas nominal lentur balok dengan nilai  $A_s$ ,  $f_y$ ,  $f'_c$ ,  $b$ , dan  $d$  masing sebesar 226.19 mm<sup>2</sup>, 374 Mpa, 18.80 Mpa, 150 mm, dan 166 mm sehingga nilai momen nominal dapat dihitung seperti berikut.

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d \left( 1 - \frac{A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b \cdot d} \right)$$

$$M_n = 226.19 \times 374 \times \left( 1 - \frac{226.19 \times 374}{1,7 \times 18.80 \times 150 \times 266} \right) = 21.01 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kapasitas momen lentur pada seluruh balok dapat dilihat pada tabel 4.30 berikut.

Tabel 4.30. Momen nominal balok

Balok	Tepi	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$f_y$ (Mpa)	$d$ (mm)	$f'_c$ (Mpa)	$b$ (mm)	$M_n$ (kNm)
B1	Atas	226.19	374	266	18.8	150	21.01
	Bawah	226.19	374	266	18.8	150	21.01
B2	Atas	804.25	320	352	22.73	250	83.73
	Bawah	1005.31	320	352	22.73	250	102.53
B3	Atas	1005.31	320	552	23.1	300	168.79
	Bawah	1206.37	320	552	23.1	300	200.44

Sumber : hasil analisis

#### 4.8.3. Kapasitas nominal geser balok

Untuk menghitung nilai kapasitas balok B1, maka kapasitas nominal geser balok dapat dihitung menggunakan data-data seperti berikut :

b	=	150 mm
d	=	166 mm
As	=	50.27 mm <sup>2</sup>
s	=	200 mm
f <sub>c</sub>	=	18,80 Mpa
f <sub>y</sub>	=	374 Mpa

Dari perhitungan didapatkan nilai-nilai V<sub>c</sub>, A<sub>v</sub>, V<sub>s</sub>, dan V<sub>n</sub>, yaitu :

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times 150 \times 266 = 17,99 \text{ KN}$$

$$A_v = 2 \times 50,27 = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{100,53 \times 374,3 \times 166}{200} = 31,23 \text{ KN}$$

$$V_n = 17,99 + 31,23$$

$$V_n = 49,23 \text{ KN}$$

Nilai geser nominal dari seluruh balok dapat dilihat pada tabel 4.31 berikut.

Tabel 4.31. Geser nominal balok

Balok	b (mm)	d (mm)	f <sub>c</sub> (Mpa)	A <sub>st</sub> (mm <sup>2</sup> )	f <sub>ys</sub> (Mpa)	s (mm)	V <sub>n</sub> (kN)
B1	150	266	18.80	100.53	240.00	200	49.23
B2	250	352	22.73	157.08	240.00	200	202.63
B3	300	552	23.10	157.08	240.00	200	340.75

Sumber : hasil analisis

#### 4.8.4. Efek beban pada balok

Efek beban pada balok B1 didapatkan dari hasil analisis struktur dengan menggunakan software *Staad Pro v.8i* . Nilai gaya lentur maksimal pada seluruh balok dapat dilihat pada tabel 4.32 berikut.



Tabel 4.32. Nilai maksimal gaya lentur balok

Balok	Member	D		L	
		Top	Bottom	Top	Bottom
B1	470	38.76	36.98	0.81	0
B2	425	43.45	16.15	17.79	6.47
B3	92	82.31	46.07	24.47	14.49

*Sumber : hasil analisis*

Sedangkan gaya geser maksimal pada seluruh balok hasil analisa struktur dapat dilihat pada tabel 4.33 berikut.

Tabel 4.33. Nilai maksimal gaya geser balok

Balok	Member	D		L	
		Top	Bottom	Top	Bottom
B1	470	0	37.82	1.73	0.231
B2	385	24.42	0	7.69	0
B3	154	106.85	0	20.68	0

*Sumber : hasil analisis*

#### 4.8.5. Indek reliabilitas balok

##### 4.8.5.1. Indek reliabilitas kondisi lentur

Nilai tahanan pada balok B3 tepi bawah dapat dihitung berdasarkan nilai kapasitas lentur balok pada penampang beton dan efek beban mati dan hidup dengan nilai-nilai seperti berikut.

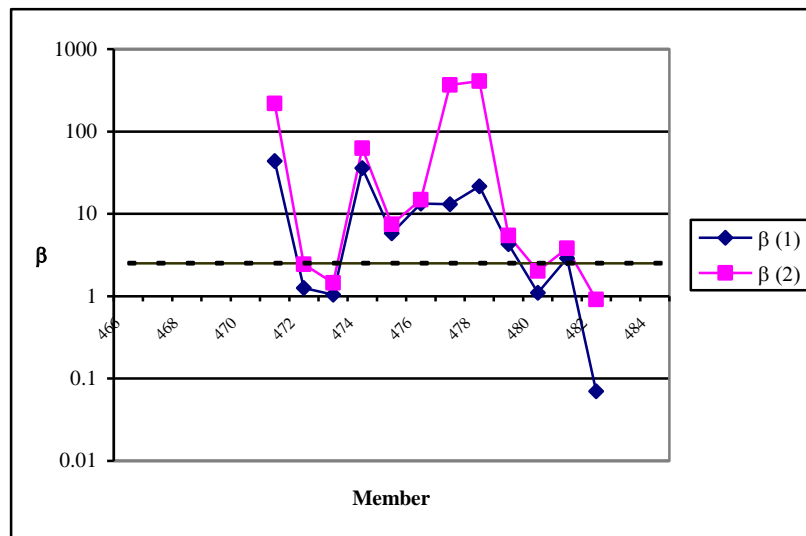
$$M_n = 200,44 \text{ KNm}$$

$$D = 46.07 \text{ KNm}$$

$$L = 14.49 \text{ KNm}$$

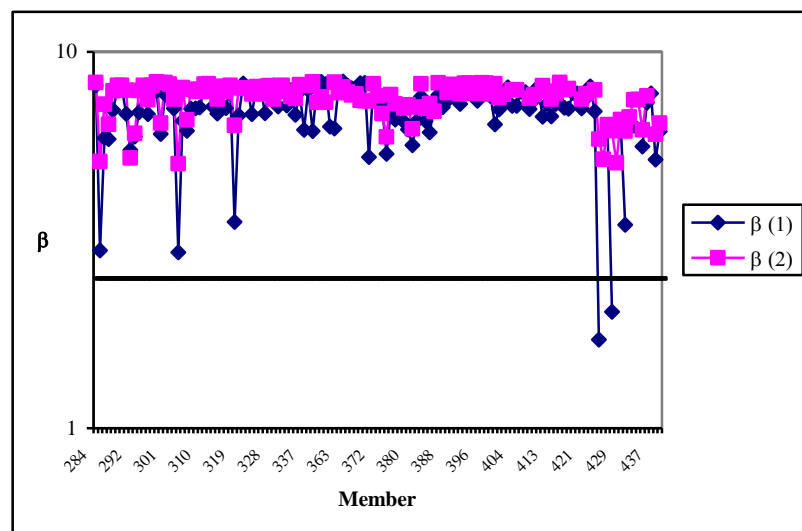
Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta$  sebesar 5,68 sehingga balok dianggap mampu menerima beban yang bekerja. Nilai  $\beta$  berdasarkan perhitungan dapat dilihat pada beberapa gambar berikut.

Nilai  $\beta$  seluruh member balok B1 pada tepi atas dan bawah, dapat dilihat pada gambar 4.18 berikut.



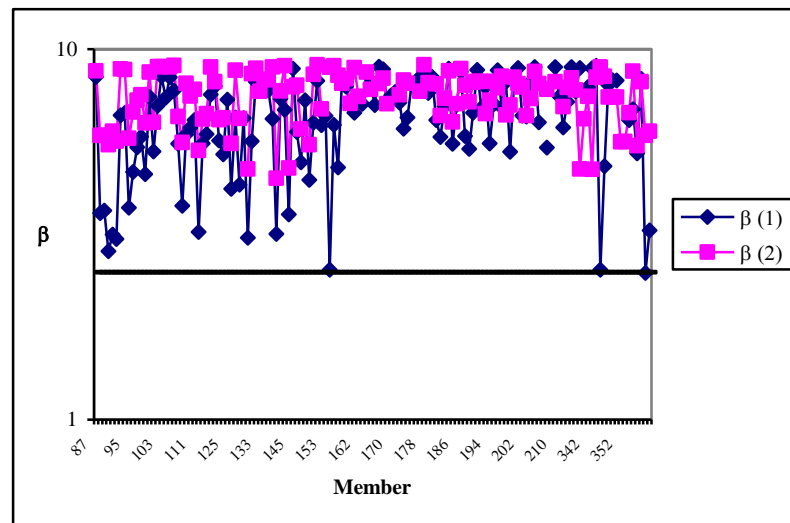
Gambar 4.18. Grafik indeks reliabilitas lentur B1

Berdasarkan perhitungan yang sama, maka rasio R/S dari balok B2 dapat dilihat pada gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19. Grafik indeks reliabilitas lentur balok B2

Berdasarkan perhitungan yang sama, nilai  $\beta$  pada seluruh balok B3 dapat dilihat pada gambar 4.20 berikut.



Gambar 4.20. Grafik indeks reliabilitas lentur balok B3

Dari hasil analisis pada seluruh komponen balok, didapatkan beberapa member dari balok yang memiliki nilai kurang  $\beta$  dari 2,5.

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada balok B3 member 87 sampai 96 dapat dilihat pada tabel 4.34 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member balok dapat dilihat di lampiran.

Tabel 4.34. Nilai  $\beta$  balok B3

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
87	8.41	8.73	8.43	8.74	1.47E-16	1.02E-17
88	3.61	5.85	3.65	5.78	5.09E-04	2.26E-08
89	3.67	5.85	3.72	5.94	4.01E-04	8.78E-09
90	2.85	5.52	2.85	5.52	6.92E-03	9.68E-08
91	3.16	6.00	3.19	6.11	2.46E-03	3.12E-09
92	3.07	5.64	3.10	5.57	3.30E-03	7.42E-08
93	6.63	8.84	6.65	8.81	9.84E-11	5.61E-18
94	6.72	8.81	6.67	8.83	8.54E-11	4.53E-18
95	3.73	5.75	3.74	5.72	3.72E-04	3.18E-08
96	4.66	6.76	4.61	6.70	9.65E-06	7.29E-11

Sumber : hasil analisis

Balok yang memiliki nilai indeks reliabilitas kurang dari nilai target indeks reliabilitas ( $\beta_T = 2,5$ ) terjadi pada balok B1, yaitu pada member balok

466,467,468,469,470,472,473,477,478,479,480,482,483,484 serta pada balok B2 member 425 dan 428.

#### 4.8.5.2. Indek reliabilitas kondisi geser

Nilai tahanan pada balok B3 tepi atas dapat dihitung berdasarkan nilai kapasitas geser balok pada penampang beton tepi atas dan efek beban mati serta beban hidup dengan nilai-nilai seperti berikut.

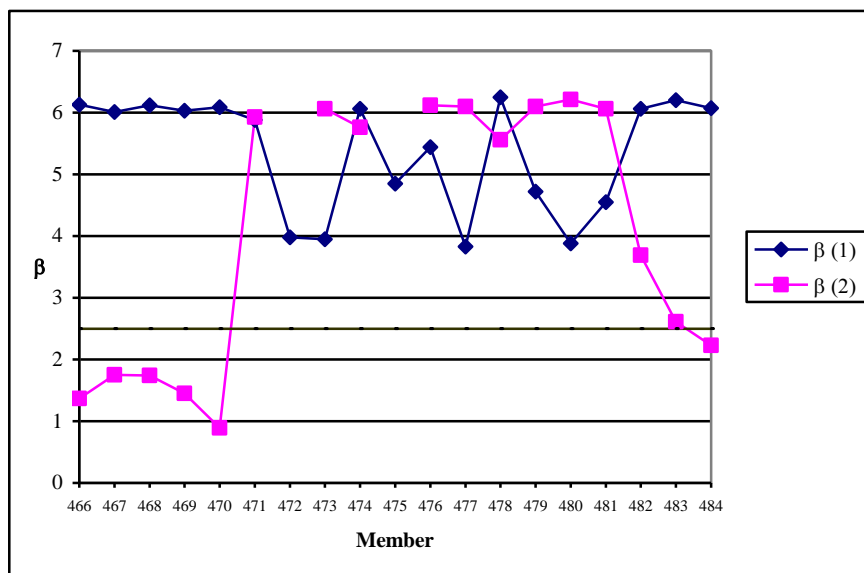
$$V_n = 340,75 \text{ KN}$$

$$D = 106,85 \text{ KN}$$

$$L = 20,68 \text{ KN}$$

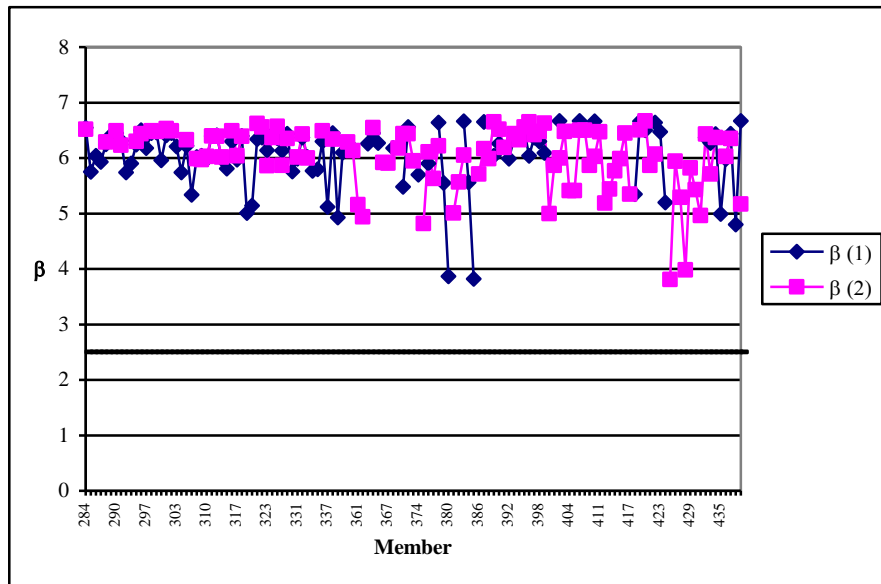
Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta$  sebesar 3.92 sehingga balok dianggap mampu menerima beban geser yang bekerja. Nilai  $\beta$  berdasarkan perhitungan dapat dilihat pada beberapa gambar grafik berikut.

nilai  $\beta$  seluruh member balok B1 pada tepi atas dan bawah, dapat dilihat pada gambar 4.21 berikut.

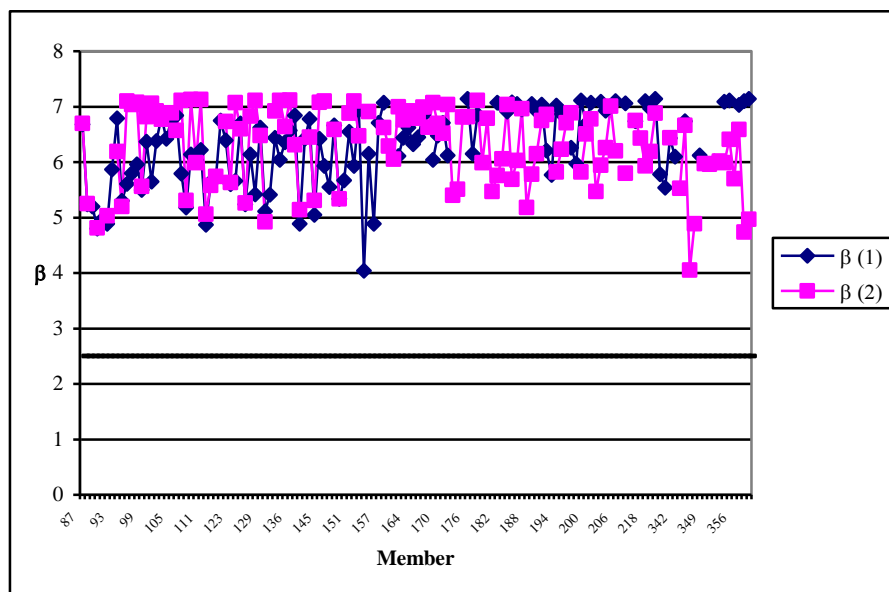


Gambar 4.21. Grafik indek reliabilitas geser balok B1

Berdasarkan perhitungan yang sama, Nilai  $\beta$  geser seluruh balok B2 dan B3 dapat dilihat pada gambar 4.22 dan 4.23 berikut.



Gambar 4.22. Grafik indeks reliabilitas geser balok B2 lantai 2



Gambar 4.23. Grafik indeks reliabilitas geser balok B3 lantai 1

Dari hasil analisis pada seluruh komponen balok, didapatkan seluruh member dari balok memiliki nilai  $\beta$  geser kurang dari 2,5 sehingga komponen balok dianggap tidak mampu dalam menerima beban geser.

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada balok B1 member 466 sampai 475 dapat dilihat pada tabel 4.35

berikut. Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member balok dapat dilihat di lampiran.

Tabel 4.35. Nilai  $\beta$  balok B3

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
466	6.13	1.37	6.17	1.37	2.19E-09	1.55E-01
467	6.01	1.75	6.11	1.74	3.06E-09	8.77E-02
468	6.12	1.74	6.10	1.73	3.28E-09	8.95E-02
469	6.03	1.45	6.00	1.43	6.08E-09	1.43E-01
470	6.09	0.89	6.04	0.89	4.68E-09	2.67E-01
471	5.88	5.93	5.85	5.95	1.44E-08	8.36E-09
472	3.98	-	4.01	-	1.31E-04	-
473	3.95	6.06	3.95	6.12	1.61E-04	3.00E-09
474	6.06	5.76	6.00	5.81	6.12E-09	1.87E-08
475	4.85	-	4.91	-	2.30E-06	-

Sumber : hasil analisis

Balok dengan kondisi geser yang memiliki nilai indek reliabilitas kurang dari nilai target indek reliabilitas ( $\beta_T = 2,5$ ) terjadi pada balok B1 dn B3. Member balok dengan nilai  $\beta$  kurang dari 2,5 dapat dilihat pada tabel 4.36 berikut.

Tabel 4.36. Nilai geser balok dengan  $\beta < \beta_T$

No	Balok	Member
1	B1	466,467,468,469,470
		472,473,477,480,481,482,483,484

Sumber : hasil analisis

#### 4.9. Perkuatan struktur

Perkuatan komponen struktur gedung perlu dilakukan jika komponen struktur dianggap tidak mampu menahan kombinasi beban yang bekerja. Perkuatan dilakukan dengan perbesaran penampang dengan cara penyelubungan (*jacketing*) menggunakan material lain sehingga komponen bersifat komposit.

Desain perkuatan dilakukan dengan memperhatikan nilai indek reliabilitas komponen, sehingga perkuatan dianggap efektif jika penambahan kekuatan pada komponen struktur sebanding dengan beban yang bekerja. Selain itu untuk tujuan efesiensi, dimensi dan jenis perkuatan akan lebih optimal ketika desain mengacu

pada konsep reliabilitas.

#### 4.9.1. Perkuatan kolom dengan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)

Perkuatan dilakukan pada kolom dengan memberikan kekangan menggunakan material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Perkuatan yang dilakukan bermaksud untuk meningkatkan kapasitas komponen dalam menerima beban struktur berupa aksial, lentur, dan geser selama masa layanan gedung.

Perkuatan pada kolom K3 dengan CFRP dianalisis menggunakan data-data sebagai berikut:

##### A. Parameter CFRP

1	Tebal CFRP	<b>tf</b>	=	1.2	mm
2	Tegangan ultimit awal	<b>ffu1</b>	=	3100	Mpa
3	Regangan awal	<b>εfu1</b>	=	0.017	
4	Modulus Elastisitas	<b>Ef</b>	=	165000	Mpa
5	Faktor lingkungan	<b>CE</b>	=	0.95	
6	Regangan ultimit	<b>εfu = (εfu1*CE)</b>	=	0.02	Mpa
7	Tegangan ultimit	<b>ffu = (ffu1*CE)</b>	=	2945	Mpa

##### B. Properti Beton

1	Diameter penampang	<b>D</b>	=	350	mm
2	Luas Penampang	<b>Ag</b>	=	96211.28	mm <sup>2</sup>
3	tinggi penampang	<b>h</b>	=	280	mm
4	lebar penampang	<b>B</b>	=	343.61	mm
5	kuat tekan beton	<b>f'c</b>	=	18.8	Mpa
6	kuat leleh tulangan	<b>Fy</b>	=	374.3	Mpa

##### C. Nilai fcc

1	Pn req		=	1750000	N
2	Koefesien	<b>Ka</b>	=	1	
3	Koefesien	<b>Kb</b>	=	1	
4	Faktor	<b>Ψf=CE</b>	=	0.95	
5	Faktor	<b>Kε</b>	=	0.55	
6	Regangan efektif, CFRP	<b>εfe=Kε*εfu</b>	=	0.009	
7	Kuat tekan komposit	<b>fcc= <math>\frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} \left( \frac{\phi P_{n, req}}{0.80\phi} - f_y A_{st} \right)</math></b>	=	31.38	Mpa

8	Kuat kekang FRP	$f_l = (f_{cc} - f_c) / 3.3 K_a$	=	3.81	Mpa
9	Jumlah lapis FRP	$n = \frac{f_l \sqrt{b^2 + h^2}}{\psi_f 2 E_f t_f \epsilon_{fe}}$	=	0.89	≈ 1 lapis

#### D. Cek Rasio

1	Rasio kekangan	$f_l / f_c > 0.08$	=	0.2	
2	Rasio regangan	$\epsilon_c' \left( 1.5 + 12 \kappa_s \frac{f_l}{f_c} \left( \frac{\epsilon_{fe}}{\epsilon_c'} \right)^{0.45} \right)$	< 0.01 =	0.00965	

Berdasarkan hasil perhitungan pada kolom K3, dengan memasukkan nilai  $P_n$  1500KN didapatkan nilai kuat tekan komposit ( $f_{cc}$ ) sebesar 31,38 Mpa dan jumlah lapis CFRP sebanyak 1. Sedangkan nilai  $f_{cc}$  dan jumlah lapis CFRP pada kolom K2 di lantai 1 dan 2 dengan nilai  $P_n$  2745 KN, didapatkan nilai  $f_{cc}$  dan lapis CFRP masing-masing sebesar 34,44 Mpa dan 1 lapis.

#### 4.9.2. Perkuatan kolom dengan *steel jacketing*

Perkuatan dilakukan pada kolom dengan memberikan kekangan menggunakan material baja atau biasa disebut *steel jacketing*. Perkuatan yang dilakukan bermaksud untuk meningkatkan kapasitas komponen dalam menerima beban struktur berupa aksial, lentur, dan geser selama masa layanan gedung.

Perkuatan pada kolom K3 dengan *steel jacketing* dianalisis menggunakan data-data sebagai berikut:

##### a. Steel Strip

$f_{y_{strip}}$	Kuat leleh steel strip	=	400.00	Mpa
$t_{st}$	tebal steel strip	=	3.00	mm
s	Jarak spasi	=	100.00	mm

##### b. Properti beton

D	Diameter penampang		=	350.00	mm
fy	Kuat leleh tulangan		=	374.00	Mpa
fc	Kuat tekan beton		=	17.08	Mpa
Es	Modulus elastisitas		=	200000.00	Mpa
Ag	Luas penampang	$0.25\pi \times D^2$	=	96211.28	mm <sup>2</sup>
Ø	Diameter tulangan		=	16.00	mm
n	Jumlah tulangan		=	12.00	buah
As	Luas tulangan	$0.25\pi \times \text{Ø}^2$	=	2412.74	mm <sup>2</sup>



$$\rho \quad \text{rasio tulangan} \quad A_s/A_g \quad = \quad 0.03 \quad \%$$

**c. Nilai  $f'_{cc}$**

$f'_{co}$	Kuat tekan beton <i>unconfined</i>	=	17.08	Mpa
$K_s$	<i>Effeciency factor</i>	=	0.75	
$f_{la}$	<i>Effective confinement pressure</i>	=	5.17	Mpa
$f'_{cc}$	Kuat tekan ekuivalen	=	39.26	Mpa

Berdasarkan hasil perhitungan pada kolom K3, didapatkan nilai kuat tekan komposit ( $f'_{cc}$ ) sebesar 39,26 Mpa dengan tebal dan jarak antar plat strip sebesar 3 dan 100 mm. Sedangkan nilai  $f'_{cc}$  pada kolom K2 lantai 1 dan 2 masing-masing sebesar 44,23 Mpa dan 44.07 Mpa. Tebal serta jarak antar plat strip masing-masing sebesar 3 mm dan 100 mm.

#### 4.9.3. Perkuatan balok dengan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)

Perkuatan dilakukan pada komponen struktur dengan maksud untuk meningkatkan lapasitas komponen dalam menerima beban struktur selama masa layanan. Perkuatan lentur pada kolom B3 menggunakan material CFRP dianalisis seperti berikut :

**A BALOK**

$b$	=	300	mm
$h$	=	600	mm
$d$	=	570	mm
$f'_c$	=	22.43	N/mm <sup>2</sup>
Tulangan tarik			
jumlah	=	6	
diameter	=	16	mm
$f_y$	=	320	N/mm <sup>2</sup>
$E_s$	=	200000	N/mm <sup>2</sup>
$M_{DL}$	=	123,910,000.00	N.mm
$M_u$	=	221,590,000.00	N.mm

**B. FRP**

$n$	=	1	lapis
$t_f$	=	1.2	mm
$f^*_{fu}$	=	620.53	N/mm <sup>2</sup>
$e^*_{fu}$	=	0.017	mm/mm

$$E_f = 165000 \text{ N/mm}^2$$

### C. ASUMSI-ASUMSI

$$C_E = 0.95 \text{ ----> Faktor Lingkungan}$$

#### Properti Material FRP terhadap faktor lingkungan

$$\begin{aligned} f_{fu} &= C_E \cdot f_{fu}^* \\ &= 589.50 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{fu} &= C_E \cdot e_{fu}^* \\ &= 0.0162 \text{ mm}^2/\text{mm}^2 \end{aligned}$$

### A PROPERTI BETON

Jika  $f'_c < 30 \text{ Mpa}$ , maka  $b_1 = 0,85$

Jika  $f'_c > 30 \text{ Mpa}$ , maka  $b_1$  direduksi 0,05 setiap kelebihan 7 MPa diatas 30 MPa, maksimal 0,65

$$\begin{aligned} \text{atau } \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \left( \frac{f'_c - 30}{7} \right) \\ \text{karena,} \\ f'_c &= 22.43 \text{ MPa} \\ \text{maka} \\ b_1 &= 0.85 \end{aligned}$$

#### Modulus Elastisitas

$$\begin{aligned} E &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ E_c &= 22,259.4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

### B PROPERTI TULANGAN BAJA

Luas Tulangan

$$\begin{aligned} A_s &= 6 * 201.1 \\ &= 1,206.86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \rho_s &= A_s / b \cdot d \\ &= 0.0071 \end{aligned}$$

Rasio  $E_s$  dan  $E_c$

$$\begin{aligned} n_s &= E_s / E_c \\ &= 8.98 \\ \rho_s \cdot n_s &= 0.0634 \end{aligned}$$

**C PROPERTI FRP**

Luas FRP

$$\begin{aligned} A_f &= n \cdot t_f \cdot w_f \\ &= 360.00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio FRP

$$\begin{aligned} r_f &= A_f / b \cdot h \\ &= 0.00200 \end{aligned}$$

Rasio  $E_f$  dan  $E_c$ 

$$\begin{aligned} n_f &= E_f / E_c \\ &= 7.41 \\ r_f \cdot n_f &= 0.01483 \end{aligned}$$

**Nilai Regangan Eksisting****A Koefisien retakan**

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{(\rho_s n_s + \rho_f n_f)^2 + 2 \left( \rho_s n_s + \rho_f n_f \left( \frac{h}{d} \right) \right) - (\rho_s n_s + \rho_f n_f)} \\ r_f \cdot n_f &= 0.01483 \\ h/d &= 1.053 \\ k &= 0.32693 \end{aligned}$$

**B Inersia penampang saat crack**

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{b(kd)^3}{3} + n \cdot A_s (d - kd)^2 \\ kd &= 0.3269 \cdot 570 \\ &= 186.3478 \\ I_{cr} &= 1712918758 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

**C Regangan Eksisting**

$$\begin{aligned} \epsilon_{bi} &= \frac{M_{DL} (df - kd)}{I_{cr} E_c} \\ &= 0.001344 \end{aligned}$$

**Koefisien Lekatan dari sistem FRP**

$$\begin{aligned} \epsilon_{fd} &= 0.41 \left( \frac{f_c}{n \cdot E_f \cdot t_f} \right) \leq 0.9 \cdot \epsilon_{fu} \\ \epsilon_{fd} &= 0.004364 \end{aligned}$$

Estimasi

$$c = 162.0613096 \quad \text{mm}$$

**Regangan Efektif dari FRP**

$$\varepsilon_{fe} = 0,003 \left( \frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.004364$$

**Regangan pada Tulangan Lentur**

$$\varepsilon_s = \left( \varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi} \right) \left( \frac{d-c}{d_f - c} \right)$$

$$e_s = 0.0053$$

**Tingkat Tegangan pada Tulangan dan FRP**

tegangan pada tulangan:

$$f_s = E_s \cdot e_s \leq f_y$$

$$f_s = 320.0$$

tegangan pada FRP:

$$f_{fe} = E_f \cdot e_{ef}$$

$$= 165000 * 0.0068$$

$$= 1,115.8 \quad \text{N/mm}^2$$

**Resultan Gaya Dalam dan Kestimbangan**

$$c = \frac{A_s \cdot f_s + A_f \cdot f_{fe}}{\gamma \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot b}$$

$$c = 162.0613096$$

$$e_s = 0.0053$$

$$f_s = f_y = 320.0$$

$$e_f = 0.00436$$

$$f_{fe} = 1,115.8 \quad \text{N/mm}^2$$

$$c = 162.1 \quad \text{mm}$$

**Kuat Lentur:**

$$\phi Mn = \phi \left[ A_s f_s \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi \cdot A_f f_{fe} \left( h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
 y_f &= 0.85 \\
 b_1.c/2 &= 68.88 \\
 d - b_1.c/2 &= 501 \\
 h - b_1.c/2 &= 531 \\
 A_s.f_s &= 386,194 \\
 A_f.f_{fe} &= 401,700 \\
 &= 401,700 \\
 \phi Mn &= 0.8 * (386194.29 * 501.1 + 0.85 * 401700 * 531.12) \\
 &= 299,904,505 \text{ N.mm} > Mu = 221,590,000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

### Cek Syarat

**A**

$$f_{s,s} = \frac{\left\{ M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k.d}{3} \right) \right\} (d - k.d) E_s}{A_s E_s \left( d - \frac{k.d}{3} \right) (d - k.d) + A_f E_f \left( h - \frac{k.d}{3} \right) (h - k.d)} \leq 0.8 f_y$$

$$\begin{aligned}
 f_{s,s} &= \mathbf{154.44} \\
 0.8 f_y &= 0.8 * 320 \\
 &= \mathbf{256.00} \\
 f_{s,s} &< \mathbf{0.8 f_y}
 \end{aligned}$$

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left( \frac{E_f}{E_s} \right) \left( \frac{h - kd}{d - kd} \right) - \varepsilon_{bi} E_f \leq 0.55 f_{fu}$$

$$\begin{aligned}
 E_f / E_s &= 0.825 \\
 f_{f,s} &= \mathbf{84.43} \\
 0.55.f_{fu} &= 0.5500 * 589.50 \\
 &= \mathbf{324.23} \\
 f_{f,s} &< \mathbf{0.55.f_{fu}}
 \end{aligned}$$

Adapun perkuatan geser pada balok B1 dapat dihitung sebagai berikut.

### A. BALOK

$$\begin{aligned}
 b &= 300 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 d &= 570 \text{ mm} \\
 f_c &= 22.43 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser

jumlah	=	2	
diameter (d)	=	10	mm
jarak (s)	=	200	mm
$f_y$	=	240	N/mm <sup>2</sup>
$E_s$	=	200000	N/mm <sup>2</sup>
$V_u$	=	157000	N

**B. FRP**

lapis (n)	=	2	lapis
sided	=	2	sided
tinggi pemasangan -			
$h_f$	=	480	mm
$d_f$	=	460	mm
lebar lapisan - $w_f$	=	100	mm
jarak pemasangan -			
$S_f$	=	120	mm
tebal lapisan - $t_f$	=	1.2	mm
$f_{fu}^*$	=	620.53	N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_{fu}^*$	=	0.017	mm/mm
$E_f$	=	165000	N/mm <sup>2</sup>

**C. ASUMSI-ASUMSI**

$C_E$	=	0.95	----> Faktor Lingkungan
-------	---	------	-------------------------

**CEK KECUKUPAN TULANGAN GESER**Gaya Geser sumbanganBeton

$$V_c = 22.431/2/6*300*570$$

$$= 134977 \text{ N}$$

Gaya Geser sumbanganTulangan

$$A_v = 50.27 \text{ mm}^2$$

$$V_s = 50.27*240*570/200$$

$$= 34384.7 \text{ N}$$

Gaya Nominal

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 134976.9 + 34384.68$$

$$= 169362 \text{ N}$$

Persyaratan:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.8 * 169361.6 \\ &= 135489.3 < V_u = 157000 \end{aligned}$$

kebutuhan perkuatan geser

$$\begin{aligned} V_{\text{perlu}} &= V_u - \phi V_n \\ &= 157000 - 135489.3 \\ &= \mathbf{21510.7 \text{ N}} \end{aligned}$$

Syarat Batas  $S_f$

$$\begin{aligned} S_f &\leq (d/4 + w_f) \\ 120 &\leq 570/4 + 100 \\ \mathbf{120} &\leq \mathbf{242.5} \end{aligned}$$

**Faktor  $K_1$**

$$\begin{aligned} K_1 &= (22.43/27)^{2/3} \\ &= 0.830741^{2/3} \\ &= \mathbf{0.8837} \end{aligned}$$

**Faktor panjang efektif  
lekatan ( $L_e$ )**

$$\begin{aligned} L_e &= \frac{23300}{(2 * 1.2 * 165000)^{0.58}} \\ &= 23300 / 1764.669 \\ &= \mathbf{13.20 \text{ mm}} \end{aligned}$$

**Faktor  $K_2$**

$$\begin{aligned} K_2 &= \frac{460 - 2 * 13.20361}{460} \\ &= 433.59 / 460 \\ &= \mathbf{0.9426} \end{aligned}$$

**GESER**

Faktor "bond-reduction"

$$\begin{aligned} K_v &= \frac{0.8837 * 0.9426 * 1320}{11900 * 0.01615} \\ &= 11.00 / 192.185 \\ &= \mathbf{0.06 \leq 0.75} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{fe} &= K_v \cdot \varepsilon_u \\
 &= 0.06 \cdot 0.01615 \\
 &= 0.0009 \leq \mathbf{0.004}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{fe} &= E_f \cdot \varepsilon_{fe} \\
 &= 165000 \cdot 0.0009 \\
 &= 152.50
 \end{aligned}$$

Luasan CFRP

$$\begin{aligned}
 A_f &= 2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f \\
 &= 2 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 100 \\
 &= 480 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Gaya Ultimit Sumbangan  
CFRP

$$\begin{aligned}
 V_f &= \frac{480 \cdot 152.50 \cdot 460}{120} \\
 &= 33671566 \text{ ./ } 120 \\
 &= \mathbf{280596} > V_{\text{perlu}} = \mathbf{21510.7}
 \end{aligned}$$

Kapasitas Nominal Geser  
Balok

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_n + V_f \\
 &= 169361.6 \quad + \quad 280596.4 \\
 &= \mathbf{449958} \quad \mathbf{N} \\
 &= \mathbf{449.96} \quad \mathbf{KN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada balok B3, didapatkan nilai kuat geser komposit sebesar 449,96 Mpa dengan jumlah lapis CFRP sebanyak 2 yang dipasang pada kedua sisi balok.

#### 4.9.4. Perkuatan balok dengan *steel plated*

Perkuatan balok dapat juga dilakukan menggunakan metode pelapisan plat baja terhadap balok eksisting atau *steel plated Jacketing*. Analisa perkuatan balok B1 dengan *steel plated* dapat dihitung sebagai berikut :

##### I Perkuatan Lentur

##### a properti balok

$$b = 150 \text{ mm}$$



h	=	300	mm
d	=	267	mm
f'c	=	18.8	Mpa
fy	=	374	Mpa
Ø	=	12	mm
Ø <sub>senggang</sub>	=	8	mm
As	=	113.10	mm <sup>2</sup>
Av	=	50.27	mm <sup>2</sup>
s	=	150.00	mm

**b luas plat baja**

bp	=	110	mm
tp	=	10	mm
As2	=	1100	mm <sup>2</sup>
fy2	=	400	Mpa
d2	=	305	mm
d <sub>av</sub>	=	286	mm
Lp top	=	522.015	mm
Lp bot	=	1252.836	mm

**c blok tekan**

c	=	201.21	mm
β	=	0.85	
a	=	171.03	

**d Kapasitas Lentur**

Mn	=	104250455.6	Nmm
		104.25	kNm

**e Kapasitas Geser**

Vn	=	(Vc1+Vs1)	
Vc	=	$\frac{\sqrt{f_c} * b * d_2}{6}$	
	=	33061.21217	N
		33.06	kN
Vs	=	$\frac{A_v * f_y * d_{av}}{s}$	
	=	35843.98044	N
		35.84	kN
Vn	=	68.91	kN

**f Cek kelehan**

$$\begin{aligned}
 A_{s,av} &= \frac{A_{s1}f_{y1} + A_{s2}f_{y2}}{f_{y1} + f_{y2}} \\
 &= 623.12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_{s1} + A_{s2}}{b d_{av}} \\
 &= 0.0283
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{y \text{ rerata}} &= \frac{A_{s1}f_{y1} + A_{s2}f_{y2}}{A_{s1} + A_{s2}} \\
 &= 397.58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= 0.319 \beta f_c / f_y \\
 &= 0.0128
 \end{aligned}$$

Kontrol tekan

**g Desain lekatan plat dan beton**

luas lekatan dengan adhesive

**Sisi atas Beton**

$$\begin{aligned}
 A_b &= b_p \cdot L_p \\
 &= 57421.65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{2 \cdot A_s \cdot f_y}{A_b} \\
 &= 1.47
 \end{aligned}$$

kuat tarik beton

$$\begin{aligned}
 \sigma_t &= 2.82 \\
 \tau &< \sigma_t \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

luas lekatan dengan adhesive

**Sisi bawah Beton**

$$\begin{aligned}
 A_b &= b_p \cdot L_p \\
 &= 137811.96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{2 \cdot A_s \cdot f_y}{A_b} \\
 &= 0.61 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

kuat tarik beton

$$\sigma_t = 45.75 \text{ Mpa}$$

$$\tau < \sigma_t \quad \text{OK}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada balok B1, didapatkan nilai  $M_n$  dan  $V_n$  masing-masing sebesar 104,25 Mpa dan 68,91 Mpa. Tebal dan lebar plat baja masing-masing digunakan nilai sebesar 10 mm dan 110 mm yang dipasang di sisi atas tumpuan.

Perkuatan geser dengan plat baja dilakukan dengan pemasangan plat pada kedua sisi balok. Analisa perkuatan geser dengan plat baja dihitung seperti berikut.

## II Perkuatan Geser

### a properti balok

b	=	150 mm
h	=	300 mm
d	=	267 mm
f <sub>c</sub>	=	18.8 Mpa
f <sub>y</sub>	=	374 Mpa
Ø	=	12 mm
Ø <sub>senggang</sub>	=	8 mm
A <sub>s</sub>	=	113.10 mm <sup>2</sup>
A <sub>v</sub>	=	50.27 mm <sup>2</sup>
s	=	150.00 mm

### b luas plat baja

w <sub>f</sub>	=	100 mm
t <sub>f</sub>	=	3 mm
A <sub>v2</sub>	=	300 mm <sup>2</sup>
f <sub>y2</sub>	=	400 Mpa
d <sub>1</sub>	=	267 mm
s <sub>f</sub>	=	150 mm

### c Kapasitas Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= (V_{c1} + V_{s1} + V_{s2}) \\
 V_c &= \frac{\sqrt{f_c} * b * d}{6} \\
 &= 28942.11032 \text{ N} \\
 &= 28.94 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s1} &= \frac{A_v * f_y * d_{av}}{s} \\
 &= \frac{33462.73698 \text{ N}}{33.46} \text{ kN} \\
 V_{s2} &= \frac{A_v * f_y * d_{av}}{s} \\
 &= \frac{427200}{427.2} \text{ kN} \\
 V_n &= V_{c1} + V_{s1} + V_{s2} \\
 &= 489.60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada balok B1, didapatkan nilai  $V_n$  sebesar 489,60 Mpa. Tebal dan lebar plat baja masing-masing digunakan nilai sebesar 10 mm dan 100 mm yang dipasang di kedua sisi balok.

#### 4.9.5. Indeks reliabilitas kolom dengan CFRP

Nilai indeks keandalan ( $\beta$ ) kolom K3 dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai tahanan dan efek pembebanan. Parameter  $\lambda_R$  dan  $V_R$  digunakan untuk mencari nilai simpangan baku ( $\sigma_R$ ). Sedangkan nilai  $\lambda_S$  dan  $V_S$  dapat dihitung dengan memberikan nilai  $\lambda_D$  dan  $\lambda_L$  masing-masing sebesar 1.05 dan 1.25.

Tabel 4.37. Parameter statistik kolom dengan CFRP

Uraian	n	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V
<b>KOLOM K2 Lantai 1</b>						
$f_c$ (Mpa)	7	22.5	23.03	1.65	1.02	0.07
$f_y$ (Mpa)	1	390	320.00	1.00	0.82	0.00
$\emptyset$ (mm)	7	16	15.56	0.59	0.97	0.04
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	7	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
$d'$ (mm)	10	30	31.14	3.24	1.04	0.10
CFRP					1.197	0.10
<b>KOLOM K2 Lantai 2</b>						
$f_c$ (Mpa)	9	22.5	22.90	1.34	1.02	0.06
$f_y$ (Mpa)	1	390	320.00	1.00	0.82	0.003
$\emptyset$ (mm)	7	16	15.56	0.59	0.97	0.04
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	7	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
$d'$ (mm)	7	30	31.14	3.24	1.04	0.10
CFRP					1.197	0.10

Lanjutan Tabel 4.37. Parameter statistik kolom dengan CFRP

Uraian	n	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V
<b>KOLOM K3</b>						
f'c (Mpa)	7	22.5	25.82	4.27	1.15	0.17
fy (Mpa)	1	390	320.00	1.00	0.82	0.00
Ø (mm)	7	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	7	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	7	30	31.14	3.24	1.04	0.10
CFRP					1.197	0.10

Sumber : hasil analisis

Sedangkan Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.38 berikut.

Tabel 4.38. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan CFRP

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	VM	VF	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda A_s \times \lambda \emptyset$		$\sqrt{(f_c^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + A_s^2 \times \emptyset^2)}$			
1	K2 lantai 1	1.26	0.96	1.00	0.05	0.13	0.08	1.44	0.19
2	K2 lantai 2	0.84	0.96	1.00	0.06	0.13	0.08	0.95	0.19
3	K3	0.94	0.96	1.00	0.17	0.13	0.08	1.08	0.25

Sumber : hasil analisis

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari kolom K3 dengan CFRP dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai faktor bias dan koefisien variasi. untuk menentukan nilai tahanan kolom, maka nilai beban ( $P_u$ ) dibandingkan dengan nilai kapasitas ( $P_n$ ) pada kondisi seimbang, sehingga indeks reliabilitas dihitung berdasarkan kondisi kegagalan yang mungkin terjadi pada kolom. Kapasitas kolom K3 dengan CFRP dapat dihitung seperti berikut.

$$D := 350 \quad A_g := \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$h := 0.8 \cdot D \quad d' := 30$$

$$b := \frac{A_g}{D} \quad d := 312.47$$

$$f_{cc} := 31.38 \quad E_s := 200000$$

$$f_y := 374 \quad \epsilon_s := 0.005$$

$$a := \beta \cdot c = 172.679$$

$$\varepsilon_s' := \varepsilon_{ccu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.008$$

$$xx := \text{if}(\varepsilon_s' > \varepsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$f_s' := f_y$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_{cc} \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nb} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nb} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$e_b := \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

$$P_{nb} = 1.266 \times 10^6$$

$$M_{nb} = 1.954 \times 10^8$$

$$e_b = 154.32$$

### Kondisi tarik

$$c := \frac{\varepsilon_{ccu}}{\varepsilon_{ccu} + \varepsilon_s} \cdot d$$

$$a := \beta \cdot c = 172.679$$

$$\varepsilon_s' := \varepsilon_{ccu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.008$$

$$\text{if}(\varepsilon_s' > \varepsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$f_s' := f_y$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_{cc} \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nc} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nc} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$P_n := \frac{P_{nc}}{1000} = 1266.103$$

$$M_n := \frac{M_{nc}}{1000000} = 195.385$$

$$e_c := \frac{M_n}{P_n}$$

$$e_c = 0.154$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $P_n$  dan  $M_n$  pada kondisi seimbang untuk kolom K3 dengan CFRP masing-masing sebesar 1610,11 KN dan 176,07 KNm. Nilai kondisi kegagalan pada kolom dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.39 berikut.

Tabel 4.39. Kondisi kegagalan kolom dengan CFRP

Kolom	Pu	Pb	Keterangan
K1 L2	281.742	1610,11	$P_u < P_b$ Tarik menentukan
K2 L2	282.500	2226,60	$P_u < P_b$ Tarik menentukan
K3	46.487	1266.10	$P_u < P_b$ Tarik menentukan

*Sumber : hasil analisis*

Kapasitas kolom yang digunakan untuk perhitungan indek reliabilitas adalah kapasitas kolom dalam kondisi tarik menentukan. Perhitungan kapasitas kolom K3 dengan CFRP dalam kondisi tarik dihitung seperti berikut.

#### Kondisi tarik

$$c := \frac{\varepsilon_{ccu}}{\varepsilon_{ccu} + \varepsilon_s} \cdot d$$

$$a := \beta \cdot c = 172.679$$

$$\varepsilon_s' := \varepsilon_{ccu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.008$$

$$\text{if}(\varepsilon_s' > \varepsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$f_s' := f_y$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_{cc} \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nc} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nc} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$P_n := \frac{P_{nc}}{1000} = 1266.103$$

$$M_n := \frac{M_{nc}}{1000000} = 195.385$$

$$e := \frac{M_n}{P_n} = 0.154$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $P_n$  dan  $M_n$  dalam kondisi tarik dengan masing-masing nilai sebesar 1266.10 KN dan 195.39 KNm. Berdasarkan nilai tahanan  $P_n$  dan  $M_n$  serta parameter statistik tahanan dan beban, maka indeks reliabilitas dari kolom K3 dengan CFRP dapat dihitung sebagai berikut.

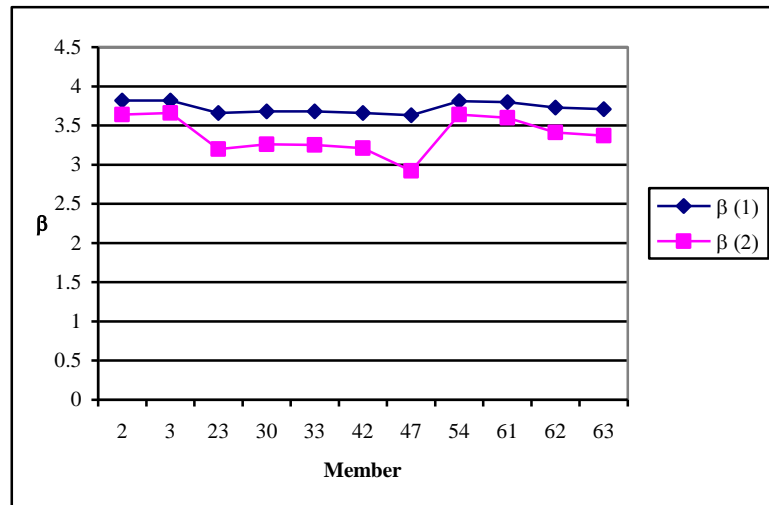
$$R = \sqrt{1266,10^2 + \left( \frac{195,39}{0,28} \right)^2} = 1445,67$$

$$D = \sqrt{65,09^2 + \left( \frac{58,33}{0,28} \right)^2} = 218,24$$

$$L = \sqrt{0,534^2 + \left( \frac{0,03}{0,28} \right)^2} = 0,55$$

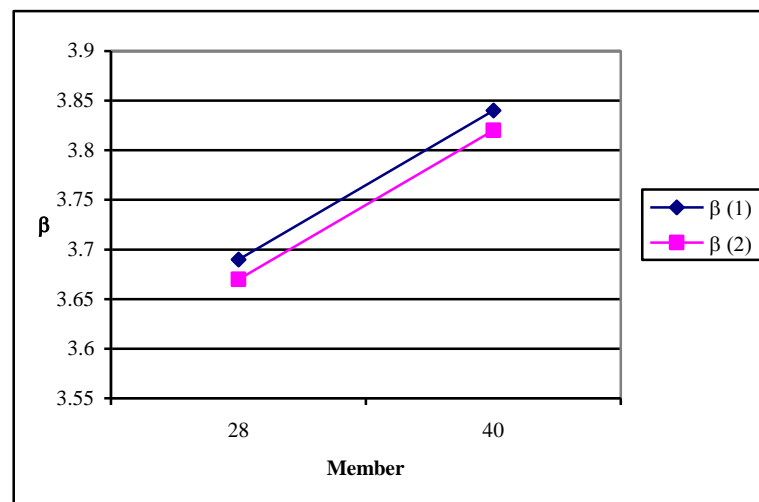
Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta = 5.406$  dengan nilai  $P_f = 1.03E-04$ . Nilai  $\beta$  pada member lain di kolom K3 dapat dilihat pada gambar 4.24 berikut.



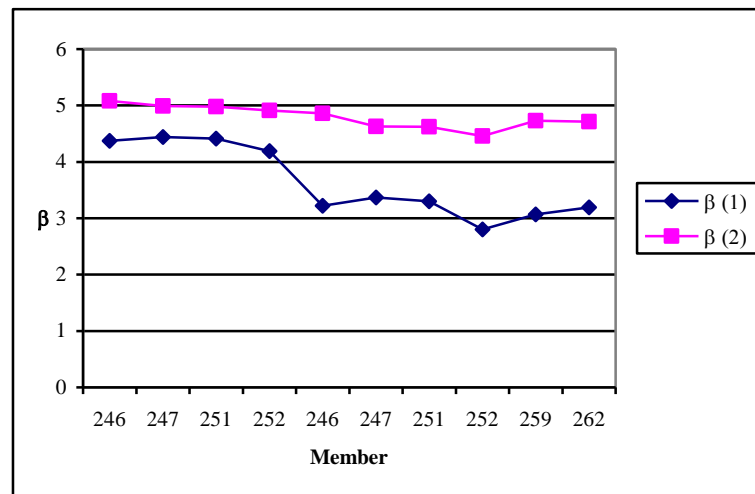


Gambar 4.24. Nilai  $\beta$  kolom K3 dengan CFRP

Nilai indek reliabilitas untuk kolom K2 lantai 1 dan lantai 2 dengan perkuatan CFRP dapat dilihat pada gambar 4.25 dan 4.26 berikut.



Gambar 4.25. Nilai  $\beta$  kolom K2 lantai 1 dengan CFRP



Gambar 4.26. Nilai  $\beta$  kolom K2 lantai 2 dengan CFRP

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada kolom K2 lantai 1 member 28 dan 40 dapat dilihat pada tabel 4.40 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member kolom dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.40. Nilai  $\beta$  kolom K2 lantai dengan CFRP

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
28	3.69	3.67	3.69	3.69	4.39E-04	4.44E-04
40	3.84	3.82	3.83	3.81	2.57E-04	2.79E-04

Sumber: hasil analisis

#### 4.9.6. Indeks keandalan kolom dengan *steel strips*

Nilai indeks keandalan ( $\beta$ ) kolom K3 dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai tahanan dan efek pembebanan. Parameter  $\lambda_R$  dan  $V_R$  dari tabel 4.2 digunakan untuk mencari nilai simpangan baku ( $\sigma_R$ ). Sedangkan nilai  $\lambda_S$  dan  $V_S$  dapat dihitung dengan memberikan nilai  $\lambda_D$  dan  $\lambda_L$  masing-masing sebesar 1.05 dan 1.25.

Tabel 4.41 parameter statistik kolom dengan *steel strips*

Uraian	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V
<b>KOLOM K2 Lantai 1</b>					
f'c (Mpa)	22.5	23.03	1.65	1.02	0.07
fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.00
Ø (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10
Steel strips				1.197	0.10
<b>KOLOM K2 Lantai 2</b>					
f'c (Mpa)	22.5	44.07	1.34	1.96	0.03
fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.003
Ø (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10
Steel strips				1.197	0.10
<b>KOLOM K3</b>					
f'c (Mpa)	22.5	44.23	4.27	1.97	0.10
fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.003
Ø (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	31.14	3.24	1.04	0.10
Steel strips				1.197	0.10

Sumber : hasil analisis

Sedangkan Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan *steel strips* dapat dilihat pada tabel 4.42 berikut.

Tabel 4.42. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan *steel strips*

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	VM	VF	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda As \times \lambda \varnothing$		$\sqrt{(f_c^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + As^2 \cdot \varnothing^2)}$			
1	K2 lantai 1	1.26	0.96	1.00	0.05	0.13	0.08	1.84	0.19
2	K2 lantai 2	0.84	0.96	1.00	0.06	0.13	0.08	1.84	0.19
3	K3	0.94	0.96	1.00	0.17	0.13	0.08	1.64	0.21

Sumber : hasil analisis

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari kolom K3 dengan *steel strips* dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai faktor bias dan koefisien variasi dari tabel 4.17. untuk menentukan nilai tahanan kolom, maka nilai beban ( $P_u$ ) dibandingkan dengan nilai kapasitas ( $P_n$ ) pada kondisi seimbang, sehingga indeks reliabilitas dihitung berdasarkan kondisi kegagalan yang mungkin terjadi pada kolom. Kapasitas kolom K3 dengan *steel strips* dapat dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned}
D &:= 350 & Ag &:= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 & s &:= 100 \\
h &:= 0.8 \cdot D & d' &:= 30 & t &:= 5 \\
b &:= \frac{Ag}{D} & d &:= 312.47 & fs &:= 400 \\
fcc &:= 39.26 & Es &:= 200000 & fce &:= 0.004 \\
fy &:= 374 & es &:= 0.004 & ec &:= 0.003 \\
Asc &:= 6 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 & As &:= 6 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 & Kb &:= 1 \\
\epsilon_y &:= \frac{fy}{Es} & \rho &:= \frac{(Asc + As)}{Ag} \\
& & ks &:= \frac{\left(1 - \frac{s}{2 \cdot D}\right)^2}{1 - \rho}
\end{aligned}$$

$$\beta := \begin{cases} 0.85 & \text{if } fcc \leq 30 \\ 0.85 - 0.008 \cdot (fcc - 30) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$fl := ks \cdot \frac{2 \cdot fs \cdot t}{D}$$

$$\begin{aligned}
\epsilon_{ccu} &:= ec \cdot \left[ 1.5 + 12Kb \cdot \frac{fl}{fc} \cdot \left( \frac{\epsilon_{fe}}{ec} \right)^{0.45} \right] \\
\epsilon_{ccu} &= 0.023
\end{aligned}$$

### Kondisi seimbang

$$c := \frac{\epsilon_{ccu}}{\epsilon_{ccu} + \epsilon_y} \cdot d = 289.229$$

$$a := \beta \cdot c = 224.418$$

$$\epsilon_s' := \epsilon_{ccu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.021$$

$$xx := \text{if}(\epsilon_s' > \epsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$fs' := fy$$

$$Cc := 0.85 \cdot fcc \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nb} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nb} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$e_b := \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

$$P_n := \frac{P_{nb}}{1000} = 2058.664$$

$$M_n := \frac{M_{nb}}{1000000} = 184.658$$

$$e_b = 89.698$$

### Kondisi tarik

$$c := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s} \cdot d$$

$$a := \beta \cdot c = 206.89$$

$$\varepsilon_s' := \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.021$$

$$\text{if}(\varepsilon_s' > \varepsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$f_s' := f_y$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_{cc} \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nc} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nc} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$P_n := \frac{P_{nc}}{1000} = 1897.874$$

$$M_n := \frac{M_{nc}}{1000000} = 196.822$$

$$e_c := \frac{M_n}{P_n}$$

$$e_c = 0.104$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $P_n$  dan  $M_n$  pada kondisi seimbang untuk kolom K3 dengan *steel strips* masing-masing sebesar 2058.66 KN dan 184.66 KNm. Nilai kondisi kegagalan pada kolom dengan *steel strips* dapat dilihat pada tabel 4.43 berikut.

Tabel 4.43. Kondisi kegagalan kolom dengan *steel strips*

Kolom	Pu	Pb	Keterangan
K1 L1	281.742	2751.37	$P_u < P_b$ Tarik menentukan
K2 L2	282.500	2752.50	$P_u < P_b$ Tarik menentukan
K3	46.487	2058.66	$P_u < P_b$ Tarik menentukan

Sumber : hasil analisis

Kapasitas kolom yang digunakan untuk perhitungan indek reliabilitas adalah kapasitas kolom dalam kondisi tarik menentukan. Perhitungan kapasitas kolom K3 dengan *steel strips* dalam kondisi tarik dihitung seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 D &:= 350 & A_g &:= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \\
 h &:= 0.8 \cdot D & d' &:= 30 \\
 b &:= \frac{A_g}{D} & d &:= 312.47 \\
 f_{cc} &:= 31.38 & E_s &:= 200000 \\
 f_y &:= 374 & \epsilon_s &:= 0.005 \\
 A_{sc} &:= 6 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 & \epsilon_{ccu} &:= 0.00965 \\
 & & \psi &:= 0.95 \\
 A_s &:= 6 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 & \epsilon_y &:= \frac{f_y}{E_s}
 \end{aligned}$$

$$\beta := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{cc} \leq 30 \\ 0.85 - 0.008 \cdot (f_{cc} - 30) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_l := k_s \cdot \frac{2 \cdot f_s \cdot t}{D}$$

$$\varepsilon_{ccu} := \varepsilon_c \cdot \left[ 1.5 + 12K_b \cdot \frac{f_l}{f_c} \cdot \left( \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c} \right)^{0.45} \right]$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0.023$$

### Kondisi seimbang

$$c := \frac{\varepsilon_{ccu}}{\varepsilon_{ccu} + \varepsilon_y} \cdot d = 289.229$$

$$a := \beta \cdot c = 224.418$$

$$\varepsilon_s' := \varepsilon_{ccu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.021$$

$$xx := \text{if}(\varepsilon_s' > \varepsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$f_s' := f_y$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_{cc} \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nb} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nb} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$e_b := \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

$$P_n := \frac{P_{nb}}{1000} = 2058.664$$

$$M_n := \frac{M_{nb}}{1000000} = 184.658$$

$$e_b = 89.698$$

**Kondisi tarik**

$$c := \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s} \cdot d$$

$$a := \beta \cdot c = 206.89$$

$$\varepsilon_s' := \varepsilon_{cu} \cdot \frac{c - d'}{c} = 0.021$$

$$\text{if}(\varepsilon_s' > \varepsilon_s, \text{"leleh"}, \text{"belum leleh"}) = \text{"leleh"}$$

$$f_s' := f_y$$

$$C_c := 0.85 \cdot f_{cc} \cdot b \cdot a$$

$$C_s := f_s' \cdot A_{sc}$$

$$T_s := A_s \cdot f_y$$

$$P_{nc} := C_c + C_s - T_s$$

$$M_{nc} := C_c \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$P_n := \frac{P_{nc}}{1000} = 1897.874$$

$$M_n := \frac{M_{nc}}{1000000} = 196.822$$

$$e_c := \frac{M_n}{P_n}$$

$$e_c = 0.104$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $P_n$  dan  $M_n$  dalam kondisi tarik dengan masing-masing nilai sebesar 1897.87 KN dan 196.82 KNm. Berdasarkan nilai tahanan  $P_n$  dan  $M_n$  serta parameter statistik tahanan dan beban, maka indeks reliabilitas dari kolom K3 dengan *steel strips* dapat dihitung sebagai berikut.

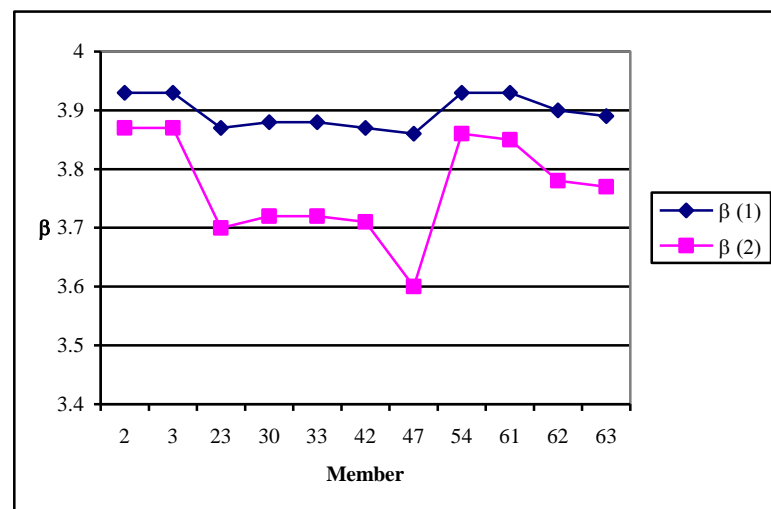
$$R = \sqrt{1897.87^2 + \left( \frac{196.82}{0.28} \right)^2} = 2023.96$$

$$D = \sqrt{65.09^2 + \left( \frac{58.33}{0.28} \right)^2} = 218.24$$



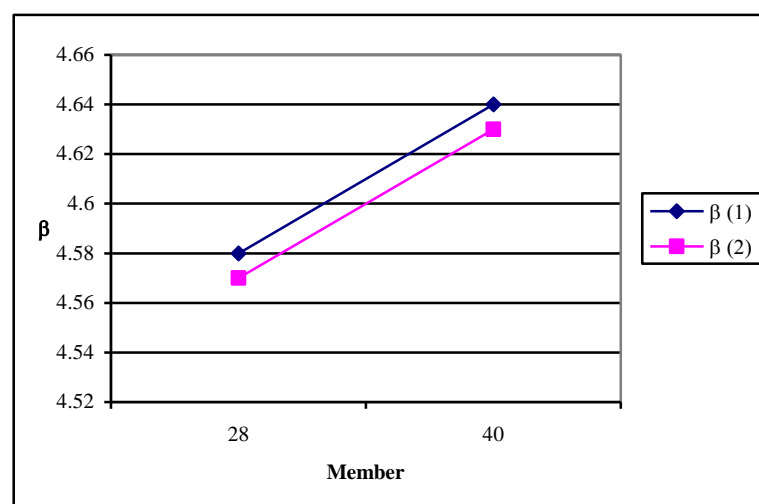
$$L = \sqrt{0,534^2 + \left(\frac{0,03}{0,28}\right)^2} = 0,55$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta = 4.975$  dengan nilai  $P_f = 1.684E-06$ . Nilai  $\beta$  pada member lain di kolom K3 dapat dilihat pada gambar 4.22 berikut.

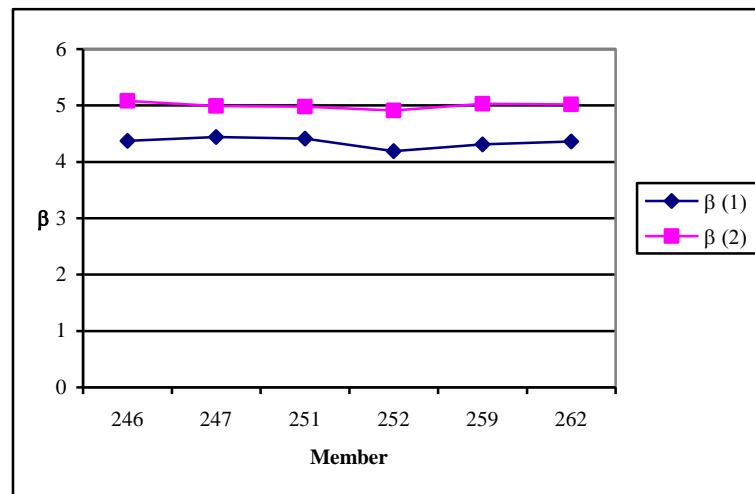


Gambar 4.27. Grafik nilai indeks reliabilitas kolom K3 dengan *steel strips*

Nilai indeks reliabilitas untuk kolom K2 dengan perkuatan *steel strips* dapat dilihat pada gambar 4.28 dan 4.29 berikut.



Gambar 4.28. Grafik nilai indeks reliabilitas kolom K2 lantai 1 dengan *steel strips*



Gambar 4.29. Grafik nilai indeks reliabilitas kolom K2 lantai 2 dengan *steel strips*

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada kolom K2 lantai 1 member 28 dan 40 dengan *steel strips* dapat dilihat pada tabel 4.44 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member kolom dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.44. Nilai  $\beta$  kolom K2 lantai 1 dengan *steel strips*

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
28	4.58	4.57	4.57	4.56	1.18E-05	1.23E-05
40	4.64	4.63	4.66	4.59	7.74E-06	1.04E-05

Sumber: hasil analisis

#### 4.9.7. Indeks reliabilitas balok dengan CFRP

Nilai indeks keandalan ( $\beta$ ) balok B3 dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai tahanan dan efek pembebanan. Parameter  $\lambda_R$  dan  $V_R$  digunakan untuk mencari nilai simpangan baku ( $\sigma_R$ ). Sedangkan nilai  $\lambda_S$  dan  $V_S$  dapat dihitung dengan memberikan nilai  $\lambda_D$  dan  $\lambda_L$  masing-masing sebesar 1.05 dan 1.25.

Tabel 4.45. Parameter statistik balok dengan CFRP

Uraian	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V
<b>BALOK B1 Lantai 1</b>					
f'c (Mpa)	22.5	18.80	0.46	0.84	0.02
fy (Mpa)	295	374.29	1.00	1.27	0.003

Lanjutan Tabel 4.45. Parameter statistik balok dengan CFRP

Uraian	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V
$\emptyset$ (mm)	12	11.77	0.19	0.98	0.02
As (mm <sup>2</sup> )	113.10	107.90	7.79	0.95	0.07
d' (mm)	20	18.29	1.89	0.91	0.10
CFRP				1.197	0.1
<b>BALOK B2 Lantai 2</b>					
f'c (Mpa)	22.5	22.73	0.56	1.01	0.02
fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.003
$\emptyset$ (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	31.80	2.10	1.06	0.07
CFRP				1.197	0.1
<b>BALOK B3 Lantai 1</b>					
f'c (Mpa)	22.5	23.10	0.37	1.03	0.02
fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.003
$\emptyset$ (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	33.90	1.66	1.13	0.05
CFRP				1.197	0.1

Sumber : hasil analisis

Sedangkan Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) kolom dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.46 berikut.

Tabel 4.46. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefesien variasi (V) kolom dengan CFRP

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	VM	VF	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda A_s \times \lambda \emptyset$		$\sqrt{(f'^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + A_s^2 \times \emptyset^2)}$			
1	B1	1.06	0.86	1.02	0.02	0.13	0.06	1.11	0.17
2	B2	0.83	0.98	1.02	0.02	0.11	0.06	0.99	0.16
3	B3	0.84	1.04	1.02	0.02	0.10	0.06	1.07	0.15

Sumber : hasil analisis

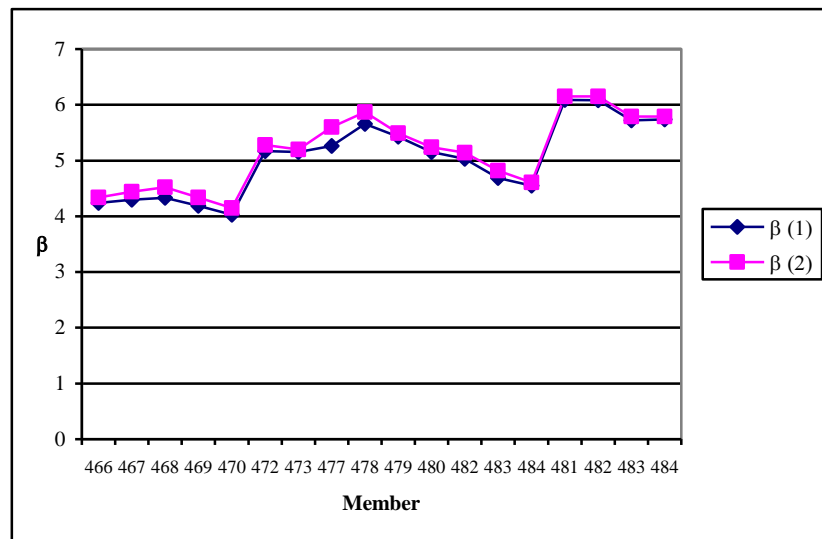
Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dari balok B3 dengan CFRP dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai faktor bias dan koefesien variasi. untuk menentukan nilai tahanan lentur balok, maka nilai beban ( $M_u$ ) dibandingkan dengan nilai kapasitas ( $M_n$ ). Indek reliabilitas balok B3 dengan CFRP dapat dihitung seperti berikut.

$$R = M_n = 299,90 \text{ kNm}$$

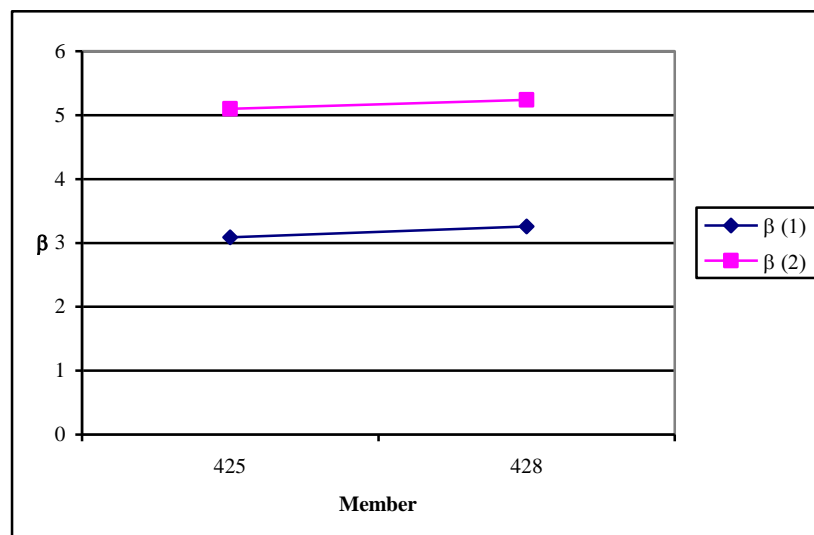
$$D = 118,57 \text{ kNm}$$

$$L = 30,49 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta = 3.483$  dengan nilai  $P_f = 9.27E-04$ . Nilai  $\beta$  dan  $P_f$  pada balok lain dapat dilihat pada gambar 4.30 dan 4.31 berikut.



Gambar 4.30. Nilai indeks reliabilitas balok B1 dengan CFRP



Gambar 4.31. Nilai indeks reliabilitas balok B2 dengan CFRP

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi

Monte Carlo pada lentur balok B1 member 466 sampai 479 dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.47 berikut. Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member balok dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.47. Nilai  $\beta$  lentur balok B1 dengan CFRP

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
466	4.24	4.34	4.27	4.35	4.35E-05	3.06E-05
467	4.30	4.44	4.30	4.40	3.79E-05	2.45E-05
468	4.33	4.52	4.37	4.50	2.80E-05	1.57E-05
469	4.19	4.34	4.22	4.37	5.48E-05	2.90E-05
470	4.03	4.15	4.10	4.13	9.06E-05	7.74E-05
472	5.17	5.28	5.08	5.31	1.00E-06	3.03E-07
473	5.15	5.20	5.16	5.19	6.46E-07	5.75E-07
477	5.26	5.60	5.26	5.59	3.93E-07	6.38E-08
478	5.66	5.87	5.68	5.85	3.91E-08	1.46E-08
479	5.43	5.49	5.46	5.53	1.36E-07	8.91E-08
480	5.15	5.24	5.19	5.23	5.58E-07	4.67E-07
482	5.03	5.14	5.07	5.13	1.07E-06	7.57E-07
483	4.69	4.82	4.73	4.78	5.65E-06	4.36E-06
484	4.55	4.61	4.55	4.63	1.29E-05	8.68E-06

Sumber: hasil analisis

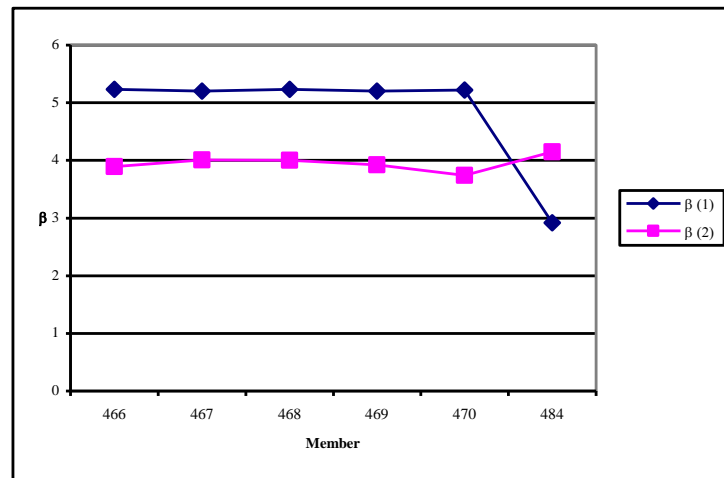
Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) geser dari balok B3 dengan CFRP dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai faktor bias dan koefesien variasi. untuk menentukan nilai tahanan lentur balok. Indek reliabilitas geser balok B3 dengan *steel plate* dapat dilihat pada gambar berikut.

$$R = 367,42 \text{ kNm}$$

$$D = 99,89 \text{ kNm}$$

$$L = 23,17 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta = 4.386$  dengan nilai  $Pf=2.65E-05$ . Nilai  $\beta$  pada balok lain dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32. Nilai indeks reliabilitas geser balok B1 dengan CFRP

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada geser balok B1 member 466 sampai 484 dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.48 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member balok dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.48. Nilai  $\beta$  geser balok B1 dengan CFRP

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
466	5.23	3.89	5.30	3.93	3.22E-07	1.79E-04
467	5.20	4.01	5.14	4.02	7.13E-07	1.23E-04
468	5.23	4.00	5.20	4.03	5.41E-07	1.20E-04
469	5.20	3.92	5.20	3.91	5.28E-07	1.89E-04
470	5.22	3.74	5.20	3.76	5.39E-07	3.40E-04
484	2.92	4.15	5.25	4.19	4.09E-07	6.02E-05

Sumber: hasil analisis

#### 4.9.8. Indeks reliabilitas balok dengan *steel plates*

Nilai indeks keandalan ( $\beta$ ) balok B1 dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai tahanan dan efek pembebanan. Parameter  $\lambda_R$  dan  $V_R$  digunakan untuk mencari nilai simpangan baku ( $\sigma_R$ ). Sedangkan nilai  $\lambda_S$  dan  $V_S$  dapat dihitung dengan memberikan nilai  $\lambda_D$  dan  $\lambda_L$  masing-masing sebesar 1.05 dan 1.25.

Tabel 4.49. Parameter statistik balok dengan *steel plates*

Uraian	Nominal	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$	V
<b>BALOK B1 Lantai 1</b>					
f'c (Mpa)	22.5	18.80	0.46	0.84	0.02
Fy (Mpa)	295	374.29	1.00	1.27	0.003
Ø (mm)	12	11.77	0.19	0.98	0.02
As (mm <sup>2</sup> )	113.10	107.90	7.79	0.95	0.07
d' (mm)	20	18.29	1.89	0.91	0.10
Steel plate				1.197	0.1
<b>BALOK B2 Lantai 2</b>					
f'c (Mpa)	22.5	22.73	0.56	1.01	0.02
Fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.003
Ø (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	31.80	2.10	1.06	0.07
Steel plate				1.197	0.1
<b>BALOK B3 Lantai 1</b>					
f'c (Mpa)	22.5	23.10	0.37	1.03	0.02
Fy (Mpa)	390	320.00	1.00	0.82	0.003
Ø (mm)	16	15.56	0.59	0.97	0.04
As (mm <sup>2</sup> )	201.062	190.32	14.14	0.95	0.07
d' (mm)	30	33.90	1.66	1.13	0.05
Steel plate				1.197	0.1

Sumber : hasil analisis

Sedangkan Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan *steel plates* dapat dilihat pada tabel 4.50 berikut.

Tabel 4.50. Faktor bias ( $\lambda$ ) dan koefisien variasi (V) kolom dengan *steel plates*

No	Uraian	$\lambda M$	$\lambda F$	$\lambda P$	VM	VF	VP	$\lambda R$	VR
		$\lambda f_c \times \lambda f_y$	$\lambda d' \times \lambda As \times \lambda \phi$		$\sqrt{(f_c^2 + f_y^2)}$	$\sqrt{(d'^2 + As^2 \cdot \phi^2)}$			
1	B1	1.06	0.86	1.02	0.02	0.13	0.06	0.93	0.14
2	B2	0.83	0.98	1.02	0.02	0.11	0.06	0.82	0.12
3	B3	0.84	1.04	1.02	0.02	0.10	0.06	0.89	0.11

Sumber : hasil analisis

Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dari balok B3 dengan *steel plates* dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai faktor bias dan koefisien variasi. Nilai indek reliabilitas balok B3 dengan *steel plates* dapat dihitung seperti berikut.

**Parameter tahanan**

$$R := 323$$

$$\lambda_R := 0.89$$

$$V_R := 0.11$$

$$\mu_R := \lambda_R \cdot R = 287.47$$

$$\sigma_R := V_R \cdot \mu_R = 31.622$$

**Parameter beban**

$$D := 127.24$$

$$L := 45.12$$

$$\lambda_D := 1.05$$

$$\lambda_L := 1$$

$$V_D := 0.1$$

$$V_L := 0.18$$

$$\mu_D := \lambda_D \cdot D = 133.602$$

$$\mu_L := \lambda_L \cdot L = 45.12$$

$$\mu_S := \mu_D + \mu_L = 178.722$$

$$V_S := \frac{\sqrt{(V_D \cdot \mu_D)^2 + (V_L \cdot L)^2}}{\mu_S} = 0.087$$

$$\sigma_S := \mu_S \cdot V_S = 15.635$$

**Indek reliabilitas**

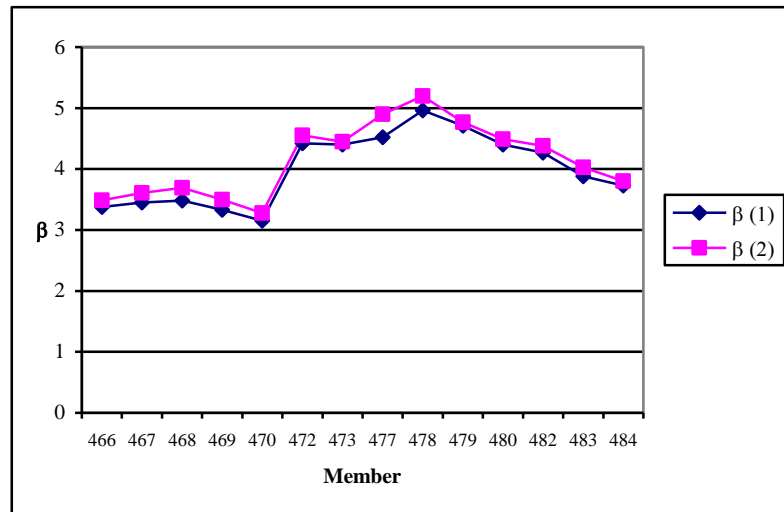
$$\beta := \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = 3.083$$

**probabilitas kegagalan**

$$P_f = F^{-1}(\beta) = 3.445 \times 10^{-3}$$

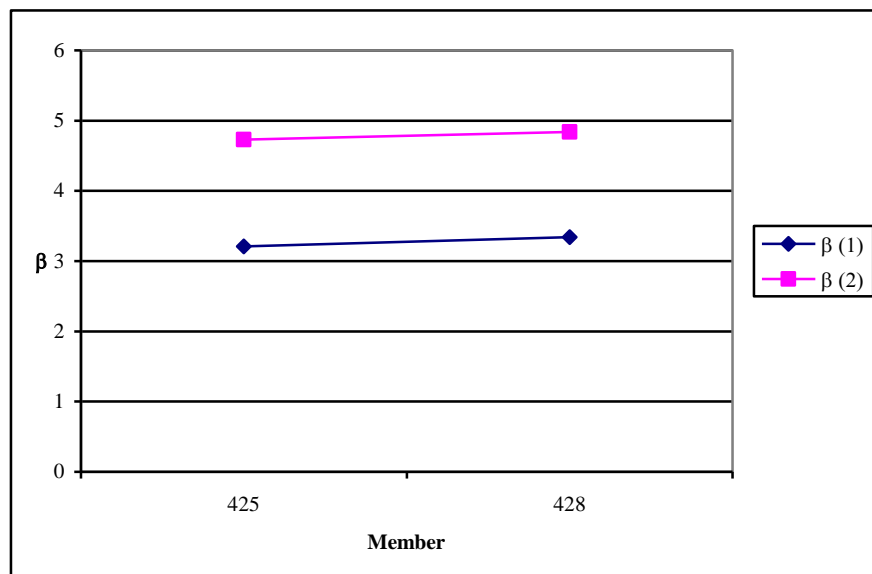
Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta = 3.083$  dengan nilai  $P_f = 3.45E-03$ .





Gambar 4.33. Grafik nilai indeks reliabilitas balok B1 dengan *steel plates*

Nilai indeks reliabilitas untuk balok B1 dan B2 dengan perkuatan steel plates dapat dilihat pada gambar 4.33 dan 4.34.



Gambar 4.34. Grafik Nilai indeks reliabilitas balok B2 dengan *steel plates*

Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi Monte Carlo pada geser balok B1 member 466 sampai 484 dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.51 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member balok dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.51. Nilai  $\beta$  lentur balok B1 dengan *steel plate*

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
466	3.38	3.49	3.38	3.52	1.31E-03	8.21E-04
467	3.45	3.61	3.48	3.65	9.40E-04	5.11E-04
468	3.48	3.69	3.50	3.71	8.70E-04	4.12E-04
469	3.33	3.50	3.35	3.51	1.47E-03	8.55E-04
470	3.15	3.28	3.19	3.28	2.48E-03	1.85E-03
472	4.42	4.55	4.37	4.54	2.81E-05	1.32E-05
473	4.40	4.45	4.41	4.47	2.37E-05	1.84E-05
477	4.52	4.90	4.57	4.89	1.19E-05	2.50E-06
478	4.96	5.20	4.95	5.20	1.88E-06	5.31E-07
479	4.71	4.77	4.71	4.75	6.17E-06	5.05E-06
480	4.40	4.49	4.43	4.46	2.14E-05	1.92E-05
482	4.27	4.38	4.34	4.36	3.27E-05	3.03E-05
483	3.88	4.03	3.86	4.01	2.31E-04	1.30E-04
484	3.73	3.80	3.73	3.76	3.83E-04	3.35E-04

Sumber : hasil analisis

Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) geser dari balok B1 dengan *steel plates* dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai faktor bias dan koefesien variasi. Nilai indek reliabilitas geser balok B1 dengan *steel plates* dapat dihitung seperti berikut.

#### Parameter tahanan dan efek beban

$$R := 169.2 \quad \lambda_D := 1.05$$

$$D := 39.71 \quad \lambda_L := 1.0$$

$$L := 0.78 \quad V_D := 0.1$$

$$\lambda_R := 1.17 \quad V_L := 0.18$$

$$V_R := 0.16$$

#### Nilai statistik tahanan dan efek beban

$$\mu_R := \lambda_R \cdot R = 197.964$$

$$\sigma_R := V_R \cdot \mu_R = 31.674$$

$$\mu S := \lambda D \cdot D + \lambda L \cdot L = 42.476$$

$$VS := \frac{\sqrt{(VD \cdot D)^2 + (VL \cdot L)^2}}{\mu S}$$

$$VS = 0.094$$

$$\sigma S := VS \cdot \mu S = 3.973$$

#### Indek reliabilitas

$$\beta := \frac{\mu R - \mu S}{\sqrt{\sigma R^2 + \sigma S^2}}$$

$$\beta = 4.871$$

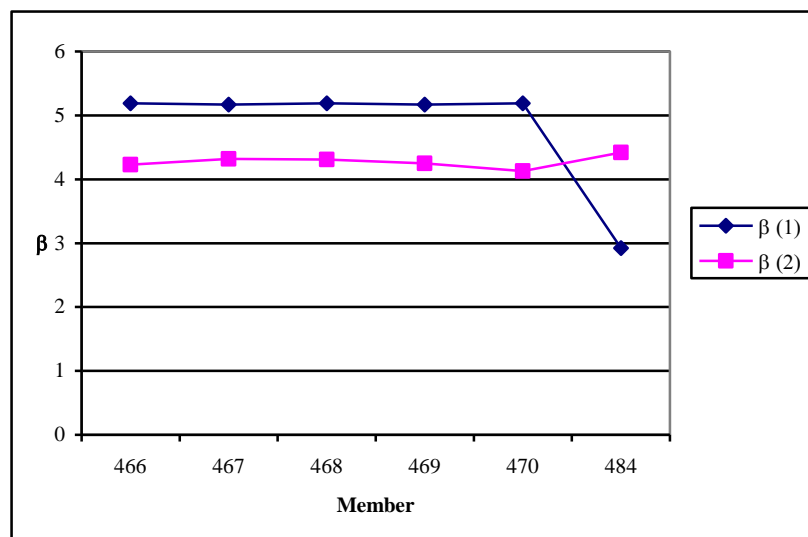
#### Probabilitas kegagalan (Pf)

$$Pf = F^{-1}(\beta)$$

$$Pf = F^{-1}(4.871)$$

$$Pf = 2.813 \times 10^{-6}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $\beta = 4.871$  dengan nilai  $Pf=2.813E-06$ .



Gambar 4.35. Nilai indek reliabilitas geser balok B1 dengan *steel plate*

Nilai indek reliabilitas geser untuk balok B1 dengan perkuatan *steel plates* dapat dilihat pada gambar 4.35.

Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) yang dihitung secara analitis dan simulasi

Monte Carlo pada geser balok B1 member 466 sampai 484 dengan CFRP dapat dilihat pada tabel 4.52 berikut. Nilai indeks reliabilitas ( $\beta$ ) dari seluruh member balok dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.52. Nilai  $\beta$  geser balok B1 dengan *steel plate*

Member	Analitis		MCS		Pf	
	$\beta$		$\beta$			
466	5.19	4.23	5.28	4.27	3.44E-07	4.41E-05
467	5.17	4.32	5.17	4.30	6.31E-07	3.93E-05
468	5.19	4.31	5.24	4.30	4.33E-07	3.82E-05
469	5.17	4.25	5.16	4.31	6.44E-07	3.69E-05
470	5.19	4.13	5.18	4.08	5.81E-07	9.79E-05
484	2.92	4.42	5.19	4.44	5.73E-07	2.09E-05

Sumber : hasil analisis

#### 4.10. Kalibrasi faktor keamanan komponen struktur

Faktor tahanan dan beban dengan pendekatan *partial safety factor*, dihitung dengan mempertimbangkan nilai  $\beta$  dan parameter statistik tahanan dan beban. Nilai  $\phi$ ,  $\gamma_D$ , dan  $\gamma_L$  dari kolom K1 lantai 1 dihitung seperti berikut.

$$\beta := 3.0$$

$$\mu_R := 822.61$$

$$\sigma_R := 123.39$$

$$\lambda_R := 0.92$$

$$V_R := 0.15$$

$$\mu_D := 308.9 \quad \mu_L := 127.52 \quad \mu_S := 436.42$$

$$\sigma_D := 30.89 \quad \sigma_L := 22.95 \quad \sigma_S := 38.48$$

$$V_D := 0.1 \quad V_L := 0.18$$

$$\chi := \frac{\sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}}{\sigma_D + \sigma_L}$$

$$\frac{\sqrt{30.89^2 + 22.95^2}}{30.89 + 22.95} = 0.715$$

$$\phi := \lambda_R \cdot (1 - \chi \cdot \beta \cdot V_R)$$

$$0.92 \cdot (1 - \chi \cdot 3.0 \cdot 0.15)$$

$$\gamma_D := 1 + \frac{\mu_R - \mu_S}{\sigma_R + \sigma_S} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}}{\sigma_D + \sigma_L} \cdot V_D$$

$$1 + \frac{822.61 - 436.42}{123.39 + 38.48} \cdot \frac{\sqrt{30.89^2 + 22.95^2}}{30.89 + 22.95} \cdot 0.1$$

$$\gamma_L := 1 + \frac{\mu_R - \mu_S}{\sigma_R + \sigma_S} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_L^2}}{\sigma_D + \sigma_L} \cdot V_L$$

$$1 + \frac{822.61 - 436.42}{123.39 + 38.48} \cdot \frac{\sqrt{30.89^2 + 22.95^2}}{30.89 + 22.95} \cdot 0.18$$

$$\phi = 0.624$$

$$\gamma_D = 1.171$$

$$\gamma_L = 1.307$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai faktor keamanan di kolom pada kondisi sebelum perkuatan seperti pada tabel 4.53 berikut.

Tabel. 4.53. Nilai faktor keamanan kolom kondisi eksisting

Komponen	Member	$\beta$	$\phi$	$\gamma_D$	$\gamma_L$	Keterangan
K1L1	17	3.00	0.624	1.171	1.307	kondisi aksial dan lentur
K1L2	281	3.09	0.616	1.178	1.32	kondisi aksial dan lentur
K2L1	28	1.88	0.695	1.106	1.191	kondisi aksial dan lentur
K2L2	252	1.32	0.67	1.127	1.229	kondisi aksial dan lentur
K3	47	0.41	0.53	1.034	1.061	kondisi aksial dan lentur

*Sumber : hasil analisis*

Sedangkan setelah perkuatan, nilai faktor keamanan di kolom pada kondisi setelah perkuatan seperti pada tabel 4.54 berikut. Nilai faktor keamanan untuk member lain pada balok dan kolom dapat dilihat di lampiran.

Tabel. 4.54. Nilai faktor keamanan kolom setelah perkuatan

Komponen	Member	$\beta$	$\phi$	$\gamma_D$	$\gamma_L$	keterangan
K2L1	28	3.69	0.719	1.234	1.421	CFRP aksial dan lentur
K2L2	252	2.79	0.591	1.168	1.303	CFRP aksial dan lentur
K3	23	2.93	0.303	1.261	1.47	CFRP aksial dan lentur
K2L1	28	4.56	0.55	1.308	1.554	<i>steel strips</i> aksial dan lentur
K2L2	252	4.21	0.409	1.274	1.493	<i>steel strips</i> aksial dan lentur
K3	23	3.72	0.119	1.344	1.62	<i>steel strips</i> aksial dan lentur

*Sumber : hasil analisis*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pengukuran di lapangan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Kerusakan pada Gedung Perpustakaan Universitas Wiralodra terjadi pada komponen arsitektural.
2. Berdasarkan hasil pengukuran, terjadi penurunan tanah yang tidak seragam dengan nilai penurunan maksimum sebesar 1.752 cm.
3. Volume kerusakan terbesar terdapat pada pintu geser utama sebesar 66,67%, sedangkan kerusakan lain yang paling banyak ditemukan berupa terkelupasnya lapisan spesi.
4. Parameter statistik tahanan pada komponen kolom eksisting dipengaruhi oleh faktor material dan faktor fabrikasi, dimana nilai faktor bias ( $\lambda$ ) terkecil dan koefesien variasi (V) terbesar terjadi pada kolom K3 dengan masing-masing sebesar 0,60 dan 0,29. Nilai faktor bias ( $\lambda$ ) terkecil dan koefesien variasi (V) terbesar pada balok terjadi di balok B2 dengan masing-masing nilai sebesar 0,82 dan 0,12.
5. Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) komponen kolom terkecil dengan nilai 1,32 terjadi pada kolom K2 di lantai 2, sedangkan nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) terkecil pada balok terjadi di balok B1 dengan nilai  $\beta < 0$ , sehingga balok akan mengalami keruntuhan.
6. Perbaikan dengan perkuatan komponen struktur menggunakan material CFRP dan *steel strip* pada kolom dan balok meningkatkan nilai parameter statistik tahanan. nilai parameter statistik pada faktor material dengan nilai faktor bias ( $\lambda$ ) terkecil dan koefesien variasi (V) terbesar masing-masing sebesar 1,08 dan 0,25 di kolom K3. Nilai faktor bias ( $\lambda$ ) terkecil dan koefesien variasi (V) terbesar pada balok terjadi di balok B2 dengan masing-masing nilai sebesar 0,99 dan 0,16.

7. Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) terkecil komponen kolom pada kondisi aksial dan lentur menggunakan perkuatan CFRP terjadi pada kolom K2 di lantai 2, yaitu sebesar 2.79. Sedangkan nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dengan perkuatan *steel strips* terkecil sebesar 3.72 terjadi pada kolom K3.
8. Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) terkecil komponen balok pada kondisi lentur menggunakan perkuatan CFRP terjadi pada balok B2, yaitu sebesar 3.05. sedangkan nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dengan perkuatan *steel strips* terkecil sebesar 3.19 terjadi pada balok B1.
9. Nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) komponen balok pada kondisi geser menggunakan perkuatan CFRP pada balok B1, yaitu sebesar 3.76. sedangkan nilai indek reliabilitas ( $\beta$ ) dengan perkuatan *steel strips* pada balok B1 sebesar 4.08.
10. Perhitungan nilai indek reliabilitas yang dilakukan secara analitis dan simulasi monte carlo menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Simulasi monte carlo memiliki kelebihan pada ketelitian hasil, dimana jumlah iterasi dari sampel yang dihitung akan berpengaruh pada nilai hasil.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisa dan keterbatasan kajian, maka beberapa hal yang diperhatikan adalah sebagai berikut.

1. Analisa struktur akibat beban lateral perlu dipertimbangkan sebelum melakukan perbaikan dengan perkuatan.
2. Perbaikan yang dilakukan sebaiknya mempertimbangkan faktor waktu, kemudahan pelaksanaan, ketersediaan tenaga kerja dan teknologi, biaya, dan nilai ekonomi struktur gedung.
3. Penggunaan material perkuatan perlu dipertimbangkan terhadap berat struktur secara keseluruhan, mengingat penambahan beban pada struktur gedung akan menyebabkan penurunan gedung lebih lanjut.



## DAFTAR PUSTAKA

- ACI committee 440,. *Guide for The Design And Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*(ACI 440.02R-08, 2008), Farmington Hills, MI.
- Achillopoulou, D. and Rousakis, T, 2012, *Square Reinforced Concrete Columns Strengthened Through Fiber Reinforced Polymer (FRP) Sheet Straps*, Rome, Conference: The 6<sup>th</sup> International Conference on FRP Composites in Civil Engineering—CICE2012.
- Allen, M. Tony, et al, 2005, *Calibration to Determine Load and Resistance Factors for Geotechnical and Structural Design*, Transportation Research Board of National Academies, Transportation Research Circular Number E-C079. Washington DC.
- Choi, et al, 2007. *Reliability-Based Structural Design*. London, Springer.
- Das, Braja M. 2007. *Principles of Foundation Engineering*. Canada, Nelson.
- Douglas, James. And Noy, Edward, 2011. *Building Surveys and Reports*, West Sussex, UK, Jhon Wiley and Sons Publication.
- Ellingwood, et al, 1980. *Development of Probability Based Load Criterion Of American National Standard A58*. US Department Of Commerce and National Bureau Of Standar Special Publication 577.
- El Reedy M.A, 2013. *Reinforced Concrete Structure Reliability*, Boca Raton, CRC Press.
- Galambos and Yu, 1984, *Load and Resistance Factor Design Of Cold-Formed Steel Structural Members*, St. Louis, Missouri, U.S.A Seventh International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures.
- ISO 2394, 1998. *General Principles On Reliability For Structures*, Switzerland, International Organization for Standardization.

- McCormac, Jack C, 2003. *Desain beton bertulang*, Jakarta, Erlangga.
- McDonald, Susan, 2003. *Concrete Building Pathology*. Oxford UK, Blackwell Science Publishing.
- Nawy, Edward G. dan Suryoatmono, B. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar*, Bandung. Refika Aditama.
- Nowak, A.S and Collins, K, *Reliability of Structures*, 2000. USA, McGraw Hill companies.
- Nowak, A.S and Kaszynska,M, 2011. *Target Reliability For New, Existing And Historical Structures*, Polytechnic Krakowskiej, Technal Transaction Civil Engineering 3-B.
- Nowak, A.S and Szerszen, M.M, 2012. *Calibration of Design Code for Buildings (ACI 318), Part 1: Statistical Models for Resistance*, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125
- Saputra, Ashar et al, 2010, *Characteristics Of Material And Fabrication For Concrete Structures In Indonesia*, Engineering Journal : volume 14 issue 4.
- Suryoatmono,B. dan Dennie Supriatna, 2011. *Analisa Reliabilitas Struktur Baja Dengan Simulasi Monte Carlo*, Bandung, Department of Civil Engineering Parahyangan Catholic University: The 1st Indonesian Structural Engineering And Materials Symposium (1<sup>st</sup> SEM).
- Uzarsky and Grussing. 2006. *Condition Assessment Manual for Building Component-Sections*, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Construction Engineering Research Laboratory.
- Watt, David S, 2007. *Building Pathology*.Oxford UK, Blackwell Science Publishing.

Wang, Chu K, Salmon, C dan Hariandja, B, 1993. *Desain beton bertulang*, Jakarta, Erlangga.

Lu , Xilin. 2010. *Retrofitting Design Of Building Structures*, Boca Raton, CRC Press.